

مقدمة قصيرة جدًّا

الديناصورات

ديفيد نورمان

الديناصورات

الديناصورات

مقدمة قصيرة جدًّا

تأليف
ديفيد نورمان

ترجمة
زينب عاطف

مراجعة
هبة عبد المولى أحمد



الديناصورات

ديفيد نورمان

Dinosaurs

David Norman

الطبعة الأولى ٢٠١٦م
رقم إيداع ١٧٥٣٠ / ٢٠١٥

مؤسسة هنداوي للتعليم والثقافة
إن مؤسسة هنداوي للتعليم والثقافة غير مسئولة عن آراء المؤلف وأفكاره
وإنما يعبِّر الكتاب عن آراء مؤلفه
٥٤ عمارات الفتح، حي السفارات، مدينة نصر ١١٤٧١، القاهرة
جمهورية مصر العربية
تليفون: ٢٠٢ ٢٢٧٠٦٣٥٢ + **فاكس:** ٢٠٢ ٣٥٣٦٥٨٥٣ +
البريد الإلكتروني: hindawi@hindawi.org
الموقع الإلكتروني: http://www.hindawi.org

نورمان، ديفيد.
الديناصورات: مقدمة قصيرة جدًّا/تأليف ديفيد نورمان.
تدمك: ٩٧٨ ٩٧٧ ٧٦٨ ٣٧٩ ١
١-الديناصورات
أ-العنوان
٥٦٧٫٩١

تصميم الغلاف: إيهاب سالم.

نُشر كتاب **الديناصورات** أولًا باللغة الإنجليزية عام ٢٠٠٥. نُشرت هذه الترجمة بالاتفاق مع الناشر الأصلي.

المحتويات

مقدمة

الديناصورات: ما بين الحقيقة والخيال

اكتُشِفَت الديناصورات رسميًّا عام ١٨٤٢ نتيجة بعض الأعمال البحثية والحدسية البارعة للغاية لعالِم التشريح البريطاني ريتشارد أوين (الشكل ١)، الذي ركَّز عمله على الطبيعة الفريدة لبعض حفريات الزواحف البريطانية المنقرضة.

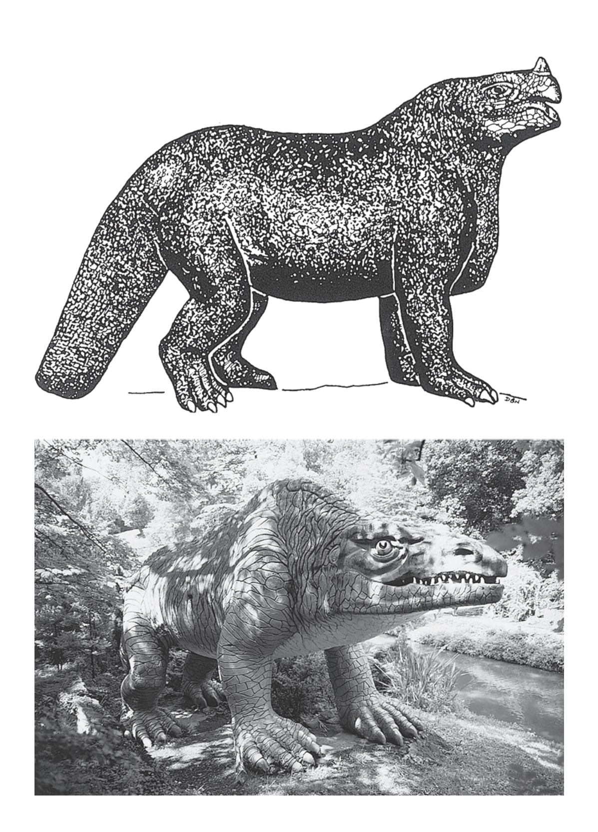
عندما أجرى أوين أبحاثه، كان من الغريب أنه يعمل على مجموعة قليلة من العظام والأسنان المتحجرة (المتحوِّلة فعليًّا إلى حجر) المكتشَفة حتى ذلك الوقت، وكانت مبعثرة في جميع أنحاء الجزر البريطانية. وعلى الرغم من أن الحديث عن الديناصورات ونشأتها كان أمرًا غير محبَّب نسبيًّا (حيث ظهر لأول مرة كفكرة ثانوية في التقرير المنشور للاجتماع الحادي عشر للجمعية البريطانية لتقدُّم العلوم)، فإن الديناصورات سرعان ما أصبحت مركز اهتمام العالم كله، والسبب في هذا بسيط؛ فقد عمل أوين في لندن — في متحف الكلية الملكية للجراحين — في وقتٍ ربما كانت فيه الإمبراطورية البريطانية في أوج ازدهارها. واحتفالًا بهذا التأثير والإنجاز أُقِيم «المعرض الكبير» عام ١٨٥١، ولاستضافة هذا الحدث، بُنِيَت قاعةُ عرضٍ ضخمة مؤقتة («القصر البلوري» لجوزيف باكستون المصنوع من الفولاذ والزجاج) في هايد بارك بوسط لندن.

بدلًا من تدمير قاعة العرض الرائعة هذه في نهاية عام ١٨٥١، نُقِلت إلى موقع دائم في ضاحية سيدنهام بلندن (التي أصبحت تُعرَف فيما بعدُ بحديقة القصر البلوري). وقد صُمِّمت أرض الحديقة المحيطة بالمعرض ونُسِّقت وفقًا لموضوعات عديدة، وصَوَّر أحدُ هذه الموضوعات الجهدَ العلميَّ متجسدًا في التاريخ الطبيعي وعلم الجيولوجيا، وكيف ساهمَا في الكشف عن تاريخ الأرض. احتوت هذه الحديقة ذات الطابع الجيولوجي



شكل ١: البروفيسور ريتشارد أوين (١٨٠٤–١٨٩٢).

— التي ربما كانت الأُولى من نوعها — على إعادة بناءٍ لملامح جيولوجية حقيقية (كهوف، وأرصفة من الحجر الجيري، وطبقات جيولوجية)، بالإضافة إلى تمثيلات لسكان العالم القديم. هذا، وقد ملأ أوين — بالتعاون مع النحَّات ورجل الأعمال بنجامين ووترهاوس هوكينز — الحديقة بنماذج لديناصورات هيكلُها من الحديد ومكسوَّة بالأسمنت (الشكل ٢)، وغيرها من كائنات ما قبل التاريخ التي كانت معروفة في هذا الوقت. اشتملت الدعاية السابقة التي ظهرت قبل إعادة افتتاح «المعرض الكبير»، بعد تغيير مكانه في شهر يونيو عام ١٨٥٤؛ على عشاءٍ احتفاليٍّ أُقِيم في ليلة رأس السنة عام ١٨٥٣ داخل بطن نموذج ديناصور نصف مكتمل من نوع إجواندون، وضمِنَ هذا قدرًا كبيرًا من الوعي العام بديناصورات أوين.



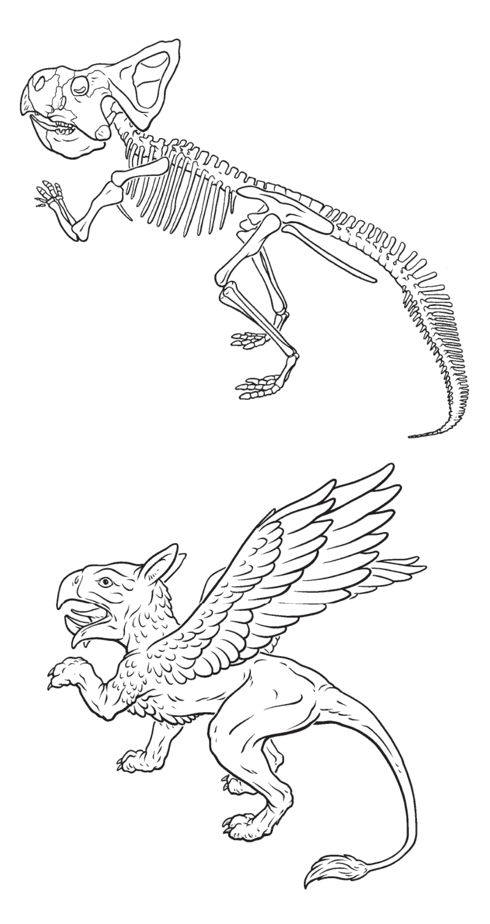
شكل ٢: (في الأعلى): رسم لنموذج ديناصور إجواندون في القصر البلوري. (في الأسفل): صورة لنموذج ديناصور ميجالوصور في حديقة القصر البلوري.

إن حقيقةَ أن الديناصورات كائناتٌ منقرضة كانت تسكن عوالم زمنية قديمة، لم تكن بالحقيقة المعروفة حتى هذا الوقت، وكانت الديناصورات هي التجسيد الفعلي للتنانين الموجودة في الخرافات والأساطير، وربما ضمِنَ هذا تقبُّلَ المجتمع بأكمله لها؛ حتى إنها ظهرت في أعمال تشارلز ديكنز، الذي كانت تربطه علاقة شخصية بريتشارد أوين. وانطلاقًا من هذه البدايات المؤثرة، نما الاهتمام العام بالديناصورات واستمر منذ ذلك الحين. وقد خضع السببُ وراء استمرار جاذبية هذا الموضوع لتفكير عميق؛ فربما يرجع قدر كبير منه إلى أهمية سرد القصص كوسيلة لتحفيز القدرات التخيلية والإبداعية لدى

البشر، ويبدو لي أنه ليس من قبيل المصادفة أن الأطفال — كما يشهد كثيرٌ من الآباء — يُظهِرون أكبرَ قدر من الحماس تجاه الديناصورات، خلال السنوات التي تسهم بالقدر الأكبر في تشكيل النمو الفكري والتطور الثقافي لديهم؛ أيْ ما بين سن الثالثة والعاشرة. فالحماس الشديد الذي ينشأ عندما يرى الأطفال هيكل الديناصور الأول في حياتهم، لا يكاد يخفى على أحد؛ فالديناصورات — كما أشار على نحو بارز الراحِل ستيفن جاي جولد، الذي يُقال إنه أكبر مروِّج للتاريخ الطبيعي العلمي — مشهورةٌ لأنها «كبيرة ومخيفة وميتة [لحُسْن حظنا]»، وصحيحٌ أن هياكلها العظمية النحيلة تمارس قوةَ جذبٍ هائلة على المشهد التخيُّلي للأطفال الصغار.

أحد الأدلة البارزة التي تدعم فكرة وجود علاقة بين الجاذبية الخفية للديناصورات والنفس البشرية، يمكن العثور عليه في علم الأساطير والتراث الشعبي؛ فقد بيَّنَتْ أدريان مايور أن الإغريق اتصلوا في وقت مبكر، يرجع إلى القرن السابع قبل الميلاد، بالثقافات البدوية في وسط آسيا. وتضم الروايات المكتوبة في هذا الوقت وصفًا «للجريفن»؛ وهو كائن يُقال إنه كان يكتنز الذهبَ ويحرسه بحذر شديد، وكان في حجم الذئب، وله منقار وأربعة أرجل ومخالب حادة في أقدامه. بالإضافة إلى هذا، تصوِّر الأعمال الفنية في الشرق الأدنى، التي ترجع إلى عام ٣٠٠٠ قبل الميلاد، كائناتٍ تُشبِه الجريفن، تمامًا كما ظهرت في الفنون المايسينية. نشأت خرافة الجريفن في منغوليا/شمال غرب الصين، بالتزامن مع طرق القوافل القديمة والتنقيب عن الذهب في جبال تيان شان وألتاي؛ فهذا الجزء من العالم — كما أصبح معلومًا لنا حاليًّا — يحتوي على تراث حفري شديد الثراء، ويشتهر بوفرةِ هياكل الديناصورات المحفوظة جيدًا، ومن الملاحظ أنه يسهل العثور عليها؛ لأن اللون الأبيض للعظام المتحجرة يظهر بوضوح وسط الحجر الرملي الناعم الأحمر اللون التي دُفِنت العظامُ داخلَه. والحقيقةُ الأهم أن أنواع الديناصورات الأكثر وفرةً، المحفوظة داخل هذه الأحجار الرملية، كانت البروتوسيراتوبس، التي هي في حجم الذئب تقريبًا، ولديها منقارٌ معقوف ناتئ وأربعُ أرجلٍ في نهايتها أصابعُ حادةُ المخالب؛ وتحتوي جمجمة هذا النوع من الديناصورات على نتوءات عظمية مقوَّسة لأعلى، يُحتمَل أن تكون هي ببساطة أصلَ التكوينات التي تشبه الأجنحةَ، التي تظهر دومًا في صور الجريفن (قارِنْ الصورتين في الشكل ٣). لقد ذُكِر الجريفن وصُوِّر باستمرار منذ أكثر من ألف عام، لكن بعد القرن الثالث الميلادي أصبح يُوصَف على نحو متزايد بصفات استعارية؛ وعلى هذا الأساس، ثمة احتمال كبير فيما يبدو أن يَدِينَ الجريفن بأصوله إلى مشاهداتٍ فعلية للهياكل العظمية

للديناصورات التي نشرها البدو المرتحلون في جميع أنحاء منغوليا؛ فهي تعرض صلةً عجيبة بين الوحوش الأسطورية الغريبة وعالم الديناصورات الحقيقي.



شكل ٣: تظهر في شكل الجريفن الأسطوري جميعُ الصفات التشريحية الأساسية في ديناصور بروتوسيراتوبس، الذي لاحظ المسافرون على طريق الحرير الممتد عبر منغوليا هياكلَه العظمية.

عند النظر إلى الأمر بموضوعية، نجد أن الانتشار الثقافي للديناصورات أمر استثنائي؛ ففي نهاية الأمر، لم يرَ أيُّ إنسان قطُّ ديناصورًا على قيد الحياة من النوع الذي لا يطير (بصرف النظر عمَّا قد يدَّعِيه بعضٌ من أكثر أدبيات نظرية الخلق لا منطقيَّةً)؛ فقد عاش أوائل البشر الذين أمكَن التعرُّف عليهم منذ ٥٠٠ ألف سنة، وفي المقابل، سار آخِر ديناصور على سطح كوكبنا منذ نحو ٦٥ مليون سنة، وربما لقي حتفه مع كثير من الكائنات الأخرى في كارثة حدثت إثر اصطدام نيزك عملاق بالأرض في هذا الوقت (انظر الفصل الثامن). إن الديناصورات — بوصفها مجموعة من الحيوانات بها قدرٌ من التنوُّع المحيِّر — يُعتقَد أنها قد عاشت على سطح الأرض لأكثر من ١٦٠ مليون سنة قبل زوالها المفاجئ؛ ولا شك أن هذا الأمر يضع مدَّةَ وجود الإنسان، وسيطرتَنا الحالية على هذا الكوكب الضعيف (لا سيَّما النقاشات الدائرة حول استخدامنا الموارد، والتلوُّث، والاحترار العالمي) في منظور جاد بلا شك.

إن حقيقة معرفتنا اليومَ بالديناصورات، والعالَمِ المختلف تمامًا الذي عاشت فيه؛ هي دليل على القوة التفسيرية الفائقة للعلم. والقدرة على التساؤل، وسبر أغوار العالم الطبيعي وكل نواتجه، والاستمرار في طرح هذا السؤال الخادع في بساطته: «لماذا؟» هي إحدى السمات الجوهرية المميِّزة للبشر. لا عجبَ إذن أن يكون تطوير أساليب بالغة الدقة من أجل التوصُّل إلى إجابات عن مثل هذه الأسئلة العامة؛ أمرًا يقع في صميم العلوم كافة.

مما لا يمكن إنكاره أن موضوع الديناصورات يحظى باهتمام لدى كثير من الناس؛ فمجرد وجودها يبعث على الفضول، ويمكن استخدام هذا في بعض الحالات كوسيلةٍ لتعريف جمهورٍ يفتقر إلى الوعي على متعة الاكتشاف العلمي وتطبيق العلم، واستخدامه على نحو أكثر تعميمًا؛ فتمامًا كما يؤدِّي الإعجاب بأناشيد الطيور إلى الاهتمام بفيزياء انتقالِ الصوت، وتحديدِ الموقع بصدى الصوت، وأخيرًا الرادار، من ناحية، أو بعلم اللغة وعلم النفس من ناحية أخرى؛ فإن الاهتمام بالديناصورات يمكنه بالمثل فَتْح مساراتٍ على نطاق واسع مذهل وغير متوقَّع من المجالات العلمية. وأحد الأهداف الأساسية لهذا الكتاب هو تقديم نبذة عن بعض هذه المسارات العلمية.

إنَّ علم الحفريات هو العلم الذي يدور حول دراسة الحفريات؛ وهي بقايا الكائنات الحية التي ماتت قبل الفترة التي بدأ يكون فيها للثقافة البشرية تأثيرٌ مميَّز على العالم، منذ أكثر من ١٠ آلاف سنة. يمثل هذا الفرع من العلم محاولتنا لإعادة إحياء مثل هذه الحفريات، ولا يُقصَد المعنى الحرفي للكلمة كما يحدث في إعادة إحياء الكائنات

الميتة (بالأسلوب الخيالي لفيلم «الحديقة الجوراسية»)، لكن عن طريق استخدام العلم في التوصُّل إلى فهْمٍ كامل قدْرَ الإمكان لطبيعةِ هذه الكائنات، والكيفيةِ التي تكيَّفت بها مع عالمها. فعندما تُكتشَف حفرية أحد الحيوانات، فإنها تطرح على علماء الحفريات سلسلةً من الألغاز، لا تختلف في طبيعتها عن تلك التي يواجِهُها المحقِّق السري الخيالي شرلوك هولمز:

- ما نوع هذا الكائن عندما كان على قيد الحياة؟
- منذ متى حدثت الوفاة؟
- هل كانت وفاته طبيعيةً بسبب هرمه، أم أنه قُتِل؟
- هل مات في المكان الذي عُثِرَ عليه فيه — مدفونًا داخل الصخرة — أم أن جسده قد نُقِل إلى هنا من مكان آخَر؟
- هل كان ذكرًا أم أنثى؟
- كيف كان شكل هذا الكائن عندما كان حيًّا؟
- هل كان لونه زاهيًا أم باهتًا؟
- هل كان سريع الحركة أم بطيء الحركة؟
- ماذا كان يأكل؟
- ما مدى قوة حاسة الرؤية أو الشم أو السمع لديه؟
- هل له صلة قرابة بأي كائنات على قيد الحياة في وقتنا هذا؟

هذه بضعة أمثلة فقط على الأسئلة التي قد تُطرح، لكنها جميعًا تصبُّ في عملية إعادة البناء التدريجية لصورة الكائنِ والعالَمِ الذي عاش فيه. لقد علمتُ من تجربتي — عقب الإذاعة الأولى للمسلسل التليفزيوني «السير مع الديناصورات»، وما عرضته من ديناصورات افتراضية تبدو حقيقيةً بدرجة مذهلة — أن كثيرًا من الناس أذهلهم ما شاهدوه أو سمعوه في التعليق، بما يكفي ليسألوا: «كيف علمتم أنها كانت تتحرَّك هكذا؟ … وأن هذا هو شكلها؟ … وأنها كانت تتصرَّف على هذا النحو؟»

يرتكز هذا الكتاب على أسئلةٍ مدفوعةٍ بالملاحظات غير المعقَّدة والفطرة السليمة؛ فكلُّ حفرية تُكتشَف تكون مميَّزة في حد ذاتها، ولديها القدرة على تعليم محبِّي البحث والاستطلاع منا شيئًا عن تراثنا بوصفنا أعضاءً في هذا العالم. مع هذا، لا بد أن أعدِّل هذه العبارة بأن أضيف إليها أنَّ نوع التراث المحدَّد الذي سأناقشه يتعلَّق بالتراث «الطبيعي»،

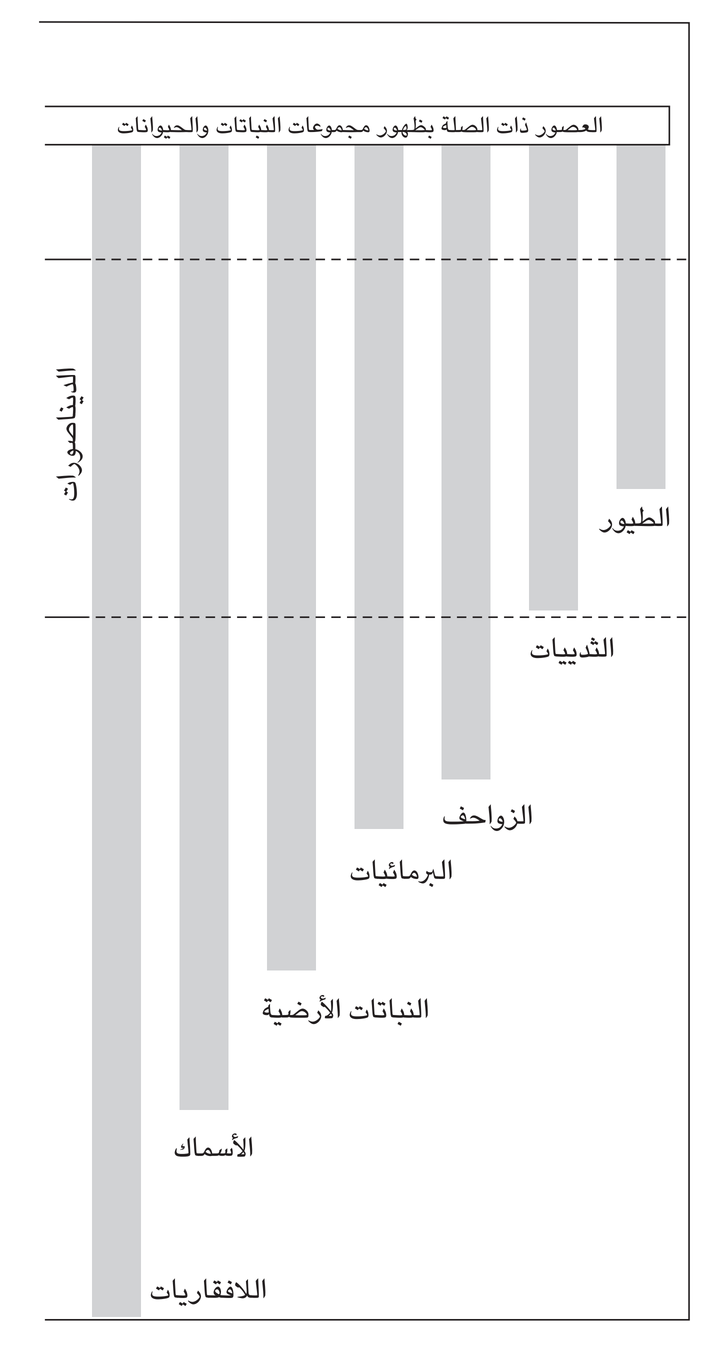
الذي نتشارك فيه مع جميع الكائنات الموجودة على كوكبنا؛ يمتد هذا التراث الطبيعي لفترة تزيد عن ٣٨٠٠ مليون سنة وفقًا لأحدث التقديرات الموضوعة. سألقي الضوء على قسم ضئيل جدًّا من هذه الفترة الزمنية الطويلة للغاية على نحو مذهل؛ حيث سنتحدَّث فقط عن الفترة ما بين ٢٢٥ و٦٥ مليون سنة ماضية، عندما سيطرَتِ الديناصورات على معظم أوجه الحياة على الأرض.

الفصل الأول

نظرةٌ على الديناصورات

لقد اكتُشِفَت البقايا المتحجرة للديناصورات (مع الاستثناء الجدير بالذكر لأحفادها المباشِرة من الطيور، انظر الفصل السادس) في صخور تنتمي إلى حقبة الحياة الوسطى؛ يتراوح عُمْر الصخور المنتمية لهذه الحقبة بين ٢٤٥ و٦٥ مليون سنة مضت. ومن أجل وضع الوقت الذي عاشت فيه الديناصورات في سياقه — نظرًا لأن هذه الأرقام ضخمةٌ للغاية على نحوٍ يصعب فعليًّا تخيُّله — من الأسهل أن نحيل القارئَ إلى الجدول الزمني الجيولوجي (الشكل ١-١).

خلال القرن التاسع عشر وجزءٍ كبير من القرن العشرين، كان عمر الأرض والأعمار النسبية للصخور المختلفة التي تتكوَّن منها، موضوعَ بحثٍ مكثَّفٍ؛ ففي أوائل القرن التاسع عشر أصبح من المُعترَف به (على الرغم من أن الأمر لم يكن دون جدال) أن صخور الأرض وما تحتوي عليه من حفريات، يمكن تقسيمها نوعيًّا إلى أنواع مختلفة؛ فثمة صخور لا تحتوي فيما يبدو على أية حفريات، ويشار إليها عادةً بالصخور النارية أو «القاعدية»، وفوق هذه الصخور القاعدية التي تبدو خاليةً من الحياة، تقع سلسلةٌ من أربعة أنواع من الصخور تعبِّر عن أربعة عصور للأرض. وخلال جزء كبير من القرن التاسع عشر، كان يُطلق على هذه الصخورِ الأسماءُ: الأولى والثانية والثالثة والرابعة، وهي تمثل فعليًّا العصور: الأول والثاني والثالث والرابع. سُمِّيَت الصخور التي احتوت على آثارِ كائناتٍ قديمة صدفية وبسيطة التكوين تشبه الأسماك؛ بالصخور «الأولى» (وتُعرَف الآن بصخور حقبة الحياة القديمة، التي تشير فعليًّا إلى «الحياة القديمة» على سطح الأرض). توجد فوق صخور حقبة الحياة القديمة سلسلةٌ من الصخور، احتوت على خليط من أصداف وأسماك وعظائيات برية (أو «حيوانات زاحفة» قد تضمُّ حاليًّا البرمائيات والزواحف)، سُمِّيت هذه الصخور إجمالًا بالصخور «الثانية» (وتُعرَف حاليًّا



شكل ١-١: الجدول الزمني الجيولوجي يوضِّح تفصيليًّا الفترةَ التي عاش فيها الديناصورات على سطح الأرض.

منذ مليون سنة	الديناصورات	الدهر	الحِقبة	العصر
٠		البشائر	الحياة الحديثة	الرباعي
٥٠	الديناصورات			الثلاثي
١٠٠			الحياة الوسطى	الطباشيري
١٥٠				
٢٠٠				الجوراسي
٢٥٠				الترياسي
٣٠٠			الحياة القديمة	العصر البرمي
٣٥٠				العصر الفحمي: العصر البنسلفاني
				العصر الفحمي: العصر المسيسيبي
٤٠٠				العصر الديفوني
٤٥٠				العصر السيلوري
٥٠٠				العصر الأردوفيسي
٥٥٠				العصر الكامبري
٦٠٠		الطلائع	عصر ما قبل الكامبري	عصر ما قبل الكامبري
٢٥٠٠		الدهر السحيق		

بحقبة الحياة الوسطى أو العصر «الميزوسي»). وفوق صخور الحقبة الوسطى عُثِرَ على صخور تحتوي على كائنات أقرب في شكلها إلى الكائنات التي تعيش في عصرنا الحالي؛ لا سيَّما أنها تحتوي على ثدييات وطيور، وأُطلِقَ على هذه الصخورُ «الثالثة» (وتُعرَف حاليًّا أيضًا باسم حقبة الحياة الحديثة أو العصر «السينوزي»). وأخيرًا، الصخور الرابعة (أو الحديثة) التي وثَّقَتْ ظهور النباتات والحيوانات المتعارَف عليها حديثًا وتأثير العصور الجليدية الكبرى.

صمد هذا النمط العام على مر السنين بحالة جيدة على نحو مذهل. استمرت جميع الجداول الزمنية الجيولوجية الحديثة في إقرار هذه التقسيمات الفرعية البدائية نسبيًّا، وإنْ كانت أساسية؛ وهي: العصر الباليوزي، والعصر الميزوسي، والعصر السينوزي، والعصر الحديث. مع هذا، فإن التحسينات في طريقة فحص السجل الحفري بطرق من بينها على سبيل المثال: استخدام الفحص المجهري العالي الدقة، وتحديد البصمات الكيميائية المرتبطة بالحياة، والتأريخ الأكثر دقةً للصخور الذي أتاحته أساليبُ النظائر المُشعَّة؛ أدَّتْ جميعها إلى الحصول على جدول زمني أكثر دقةً لتاريخ الأرض.

إن الجزء الذي يعنينا بالأحرى في الجدول الزمني الجيولوجي في هذا الكتاب هو حقبة الحياة الوسطى (العصر الميزوسي)، التي تتكوَّن من ثلاث فترات جيولوجية: العصر الترياسي أو الثلاثي (منذ ٢٤٥–٢٠٠ مليون سنة)، والعصر الجوراسي (منذ ٢٠٠–١٤٤ مليون سنة)، والعصر الطباشيري أو الكريتاسي (منذ ١٤٤–٦٥ مليون سنة). لاحظ أن هذه الفترات لم تكن بأي حال من الأحوال متساويةً في مدتها؛ فلم يتمكن علماء الجيولوجيا من تحديد مؤشر زمني يشبه بندول الساعة يقيس مرور الوقت على سطح الأرض. وقد وُضِعَ مخطَّط للحدود بين هذه الفترات في القرنين الأخيرين على يد علماء جيولوجيا استطاعوا التعرُّف على أنواع معينة من الصخور، وغالبًا على ما تحتوي عليه من حفريات، وينعكس هذا عادةً في الأسماء التي اختِيرت لهذه الفترات؛ فمصطلح «ترياسي» أو «ثلاثي» نشأ من مجموعة ثلاثية تتكوَّن من أنواع صخور مميَّزة — تُعرَف باسم بونتر وموشيلكالك وكويبر — أما الاسم «الجوراسي» فقد نشأ من سلسلة من الصخور اكتُشِفت في جبال جورا في فرنسا، في حين أن الاسم «طباشيري» أو «كريتاسي» قد اختير ليعكس السُّمْكَ الهائل للطباشير (المعروف باسم كريتا في اللغة اليونانية)، كالذي يشكِّل المنحدرات الصخرية البيضاء في مدينة دوفر، ويوجد على نطاق واسع في جميع أنحاء أوراسيا وأمريكا الشمالية.

يرجع تاريخ أولى الديناصورات المعروفة، التي عُثِرَ عليها في صخورٍ، إلى ٢٢٥ مليون سنة مضَتْ منذ نهاية العصر الترياسي — وهي فترة تُعرف باسم الفترة الكارنية — في الأرجنتين ومدغشقر. ومن المُربِك بعض الشيء أن هذه البقايا المبكرة ليست أمثلةً نادرةً وفرديةً على نوعٍ واحد من الكائنات؛ الجَدِّ المشترك لجميع الديناصورات اللاحقة؛ فحتى وقتنا الحالي اكتُشِف على الأقل أربعة كائنات مختلفة (أو ربما خمسة)، ثلاثة منها آكلة لِلُّحوم (إيورابتور، وهيريراصور، وستوريكوصور)، وبيزانوصور وهو نوع آكِل للعُشب غير مكتمِل للأسف، ونوع واحد آكِل للحيوانات والنباتات لم يُطلَق عليه اسم حتى الآن. إذن ثمة استنتاج واحد واضح؛ أن هذه ليست الديناصورات الأولى؛ فمن الواضح أن الفترة الكارنية شهدت مجموعةً متنوعة من الديناصورات الأولى؛ وبناءً عليه، يشير هذا إلى ضرورة وجود ديناصورات قد عاشت في العصر الترياسي الأوسط (اللاديني-الأنيسي)، مثَّلَت «آباء» الأنواع المتعددة التي عاشت في الفترة الكارنية؛ لذا، نعلم يقينًا أن قصة أصول الديناصورات — من حيث الوقت والمكان — ما زالت غير مكتمِلة.

السبب وراء ندرة حفريات الديناصورات



شكل ١-٢: ديناصور هيريراصور الآكِل للحوم.

من المهم أن يدرك القارئ في البداية أن سجل الحفريات غير مكتمِل، وربما ما يثير مزيدًا من القلق أنه متقطع وغير مفصَّل بكل تأكيد. يرجع عدم الاكتمال هذا إلى عملية التحجُّر؛ فقد كانت الديناصورات جميعها حيواناتٍ بريةً تعيش على سطح الأرض، وهو

أمر يطرح مشكلات معينة، وحتى نفهم هذا، من الضروري أن نفكِّر أولًا في حالة كائن صدفي يعيش في البحر، مثل المحار؛ ففي مياه البحار الضحلة التي يعيش فيها المحار في عصرنا الحالي، يكون احتمالُ تحجُّرِه مرتفعًا إلى حدٍّ كبير؛ فهو يعيش في قاع البحر — أو يتعلق به — ويتعرَّض على الدوام لـ «قطرات» من الجسيمات الصغيرة — الرواسب — بما في ذلك الكائنات العالقة المتحللة، والطمي أو الطين، وحبيبات الرمل. إذا ماتَتْ إحدى المحارات، فإن أنسجتها الرخوة ستتعفَّن أو ستقتات عليها الكائنات الأخرى بسرعة كبيرة إلى حدٍّ ما، وستُدفَن صدفتها الصلبة بالتدريج تحت الرواسب الناعمة، وبمجرد أن تُدفَن الصدفة يصبح من المحتمَل تحوُّلها إلى حفريةٍ؛ حيث تعلق تحت طبقة من الرواسب يزداد سُمكها تدريجيًّا. وعلى مدار آلاف أو ملايين السنين، تنضغط الرواسب المدفونة تحتها الصدفة لتكوِّن حجرًا رمليًّا مليئًا بالطمي، وربما تصبح متماسكةً أو متحجِّرةً عن طريق ترسُّب كربونات الكالسيوم (الكالسيت) أو السيليكا (الحجر الصَّوَّان)، التي تنتقل عبر نسيج الصخرة عن طريق الماء الذي يتخلَّلها. ولكي تُكتشَف البقايا المتحجرة للمحار الأصلي، لا بد أن يُزاح الحجر المدفون على عمق كبير — بفِعل حركة الأرض — لتشكيل أرض جافة، ثم تتعرَّض تلك البقايا المتحجرة لعمليات التآكُل والتعرية المعتادة.

من ناحية أخرى، الكائناتُ التي تعيش على سطح الأرض يقل احتمالُ تحجُّرِها أكثر من هذا بكثير؛ فأي حيوان يموت على سطح الأرض يُحتمَل — بالتأكيد — أن تُلتهم بقاياه اللحمية الرخوة ويعاد تدويرها؛ ومع هذا، حتى يتسنَّى الاحتفاظ بهذا الكائن في صورة حفرية، لا بد من أن يُدفَن بشكل من الأشكال. وفي حالات نادرة قد تُدفَن الكائنات سريعًا في انجراف الكثبان الرملية، أو في انهيار طيني، أو تحت رماد بركاني، أو عن طريق أي نوع من الكوارث الأخرى. لكن، في معظم حالات بقايا الحيوانات الأرضية، لا بد من وصولها إلى جدول مائي أو نهر قريب، وينتهي بها الحال في بحيرة أو في قاع البحر؛ حيث يمكن بدْءُ عملية دفنٍ بطيءٍ، تؤدِّي إلى التحجُّر. بعبارة بسيطة، إن الطريق أمام تحجُّر أيٍّ من الكائنات الأرضية يكون أطول بكثير، ومحفوفًا بمخاطر أكبر؛ فكثيرٌ من الحيوانات التي تموت على سطح الأرض تُؤكَل وتصبح بقاياها مبعثرةً بالكامل، لدرجة أن أجزاءها الصلبة يُعاد تدويرها في المحيط الحيوي، في حين تتبعثر الهياكلُ العظمية لكائنات أخرى، لدرجة أن الشظايا المكسورة فقط هي التي تُكمِل الطريقَ فعليًّا نحو عملية الدفن النهائي؛ مما يترك لمحاتٍ محبِطة عن هذه الكائنات؛ إذ لا يحدث إلا في حالاتٍ نادرة للغاية أن تُحفَظ أجزاء رئيسية أو حتى هياكل عظمية كاملة بصورتها المكتمِلة.

لذا، يقضي المنطق بأن هياكل الديناصورات (كحال أي حيوان يعيش على سطح الأرض) لا بد أن تكون نادرةً للغاية، وهي بالفعل كذلك على الرغم من الانطباع الذي تقدِّمه وسائلُ الإعلام أحيانًا.

إنَّ اكتشاف الديناصورات وظهورها داخل سجل الحفريات هو أيضًا عمل غير منتظم وغير مكتمِل بالتأكيد، لأسباب طبيعية إلى حدٍّ كبير؛ فحفظ الحفرية — كما أصبحنا نعرف — هو عملية قائمة على الصدفة وليس عمليةً قائمةً على التخطيط. واكتشاف الحفريات هو أمرٌ عرضي أيضًا؛ نظرًا لأن الطبقات السطحية من الصخور لا تكون مرتَّبةً على نحوٍ منسق مثل صفحات الكتاب حتى يمكن أخذ عينات منها بالترتيب، أو كما يُخيَّل لنا.

إنَّ طبقات الأرض السطحية الهشة نسبيًّا — أو قشرتها بالمسمَّى الجيولوجي — قد تعرَّضَتْ للدمار والتمزيق والانهيار بفِعل القوى الجيولوجية التي أخذت تؤثِّر فيها على مدار عشرات أو مئات أو ملايين السنين، والتي جذبت كتلًا من الأرض بعضها بعيدًا عن بعض أو سحقتها معًا؛ ونتيجةً لهذا، تعرَّضت الطبقات الجيولوجية المحتوية على الحفريات إلى الكسر، وقُذِفت إلى السطح، وكثيرًا ما كانت تُدمَّر بالكامل عن طريق عملية التعرية طوال الزمن الجيولوجي، وتصبح غيرَ واضحة فيما بعدُ بسبب الترسيب المتجدد للفترات اللاحقة؛ وبناءً عليه، فإنَّ ما يبقى لنا — نحن علماء الحفريات — هو «ساحة معركة» شديدة التعقيد، مليئة بالثقوب والحُفَر، ووعرة بطرق متنوعة محيِّرة. وقد كان تحليل هذه «الفوضى» هو العمل الذي اشتغل به عدد لا حصرَ له من أجيال علماء الجيولوجيا الميدانيين. خضعت النتوءات الصخرية هنا والمنحدرات الصخرية هناك للدراسة، وتجمَّعَتْ ببطء لتكوِّن الأحجيةَ التي تُعرَف باسم التكوين الجيولوجي للأرض؛ ونتيجةً لهذا، أصبح من الممكن حاليًّا التعرُّف على صخور تعود إلى حقبة الحياة الوسطى — المنتمية للعصور: الترياسي والجوراسي والطباشيري — بقدرٍ من الدقة في أية دولة في العالم. لكن، لا يكفي هذا للمساعدة في البحث عن الديناصورات؛ فمن الضروري أيضًا التغاضي عن صخور حقبة الحياة الوسطى الموجودة في قاع البحر، مثل الرواسب الطباشيرية السميكة التي تعود إلى العصر الطباشيري والأحجار الجيرية الوفيرة للعصر الجوراسي؛ فإن أفضل أنواع الصخور التي يمكن البحث فيها عن حفريات للديناصورات، هي الموجودة في بيئات المياه الساحلية الضحلة أو في مصبَّات الأنهار؛ فربما تكون قد احتُجِزت في هذه المناطق الجثثُ الفريدة المنتفخة للكائنات التي عاشت على سطح الأرض، ثم جُرِفت إلى مياه البحر. لكن أفضلها على الإطلاق هي رواسب الأنهار والبحيرات؛ وهي بيئات كانت أقرب من الناحية الطبيعية إلى مَوْطِن هذه الكائنات الأرضية.

البحث عن الديناصورات

من البداية، علينا أن نتعامل مع عملية البحث عن الديناصورات بطريقة منظَّمة. وعلى أساس ما تعلمناه حتى الآن، من الضروري في البداية معرفة الأماكن التي يمكن العثور فيها على صخور من العصر المناسب، وذلك بالرجوع إلى الخرائط الجيولوجية للدولة موضع الاهتمام. وما لا يقل أهميةً عن ذلك ضرورةُ التأكُّد من أن الصخور من النوع الذي من المحتمَل على الأقل أنه يحافظ على بقايا الحيوانات الأرضية؛ لذا من الضروري توافُر بعض المعرفة الجيولوجية من أجل الحكم على احتمالية وجود حفريات الديناصورات، خاصةً عند زيارة منطقةٍ ما لأول مرة.

يتطلَّب هذا على الأرجح توافُر معرفةٍ بالصخور وهيئتها في المنطقة التي يُجرى فيها البحث، وهو أمر أشبه إلى حدٍّ ما بالطريقة التي يجب أن يَدرس بها الصيادُ باهتمامٍ شديدٍ المنطقةَ التي تعيش فيها الفريسةُ. يتطلَّب هذا أيضًا تطويرَ «عين راصدة» خبيرةٍ بالحفريات، وهو ما يُكتسَب ببساطة من البحث إلى حين العثور في النهاية على أجزاء الحفرية، ويستغرق هذا وقتًا.

إنَّ لحظة الاكتشاف تكون مصحوبة بدرجة كبيرة من الإثارة، لكن يتعيَّن أيضًا على المكتشِف في هذه اللحظة التزام أقصى درجات الحيطة والحذر؛ ففي كثير من الأحيان، تتلف الحفرياتُ المكتشَفة — من الناحية العلمية — بفِعل ثورة الحماس العارمة التي تعتري المكتشِفَ أثناء الحفر من أجل استخراج العينة، حتى يتمكَّن من الافتخار بعرضها؛ ومثل هذا التسرُّع يمكنه إلحاق ضرر هائل بالحفرية نفسها، وأسوأ من ذلك أن هذا الجسم قد يكون جزءًا من هيكل عظمي أكبر، وربما يكون من المربح أكثر أن ينقِّب عنه بعنايةٍ فريقٌ أكبر من علماء الحفريات المدرَّبين. وبلغة المحقِّقين، إن الصخورَ التي دُفِنَتِ الحفريةُ بداخلها قد تخبرنا أيضًا بقصص مهمة عن الظروف التي مات فيها الحيوانُ ودُفِن، بالإضافة إلى المعلومات الأكثر وضوحًا بشأن العمر الجيولوجي الفعلي للعينة.

إنَّ البحث عن الحفريات — واكتشافها — قد يكون مغامَرةً مثيرةً على المستوى الشخصي، وعمليةً مُبهِرةً من الناحية الفنية، لكنَّ العثور على الحفريات هو مجرد بدايةِ عمليةٍ من البحث العلمي، قد تؤدِّي إلى فهم التكوينِ الحيوي للكائن المتحجر وطريقةِ حياته والعالَمِ الذي عاش فيه في وقت ما. ومن هذا المنطلق الأخير، تظهر بعض أوجه الشبه بين علم الحفريات وعمل الطبيب الشرعي؛ فمن الواضح أن كليهما يشتركان في

اهتمامهما الشديد بفهم الملابسات المحيطة باكتشاف الجثمان، ويستخدمان العلم في تفسير وفهم أكبر عدد ممكن من المعلومات والأدلة؛ حتى لا يتركا بابًا دون طرقه.

اكتشاف ديناصور الإجواندون

بمجرد العثور على الحفرية، لا بد من دراستها علميًّا من أجل الكشف عن هويتها وعلاقتها بالكائنات الأخرى المعروفة، بالإضافة إلى معرفة جوانب أكثر تفصيلًا، مثل شكلها وتكوينها الحيوي وبيئتها. ولتوضيح بعض المِحَن والشدائد المتأصِّلة في أي برنامج استكشافي في علم الحفريات من هذا النوع، سنحلِّل أحدَ أنواع الديناصورات المألوفةِ إلى حدٍّ ما والمدروسةِ جيدًا؛ وهو الإجواندون. وقد اخترنا هذا الديناصور لأن وراءه قصة ممتعة ومناسبة، وهو أحد الديناصورات المألوفة لي؛ لأنه يمثِّل نقطةَ البداية غير المتوقَّعة لمهنتي كعالِم حفريات. يبدو أن الصدفة تعلب دورًا مهمًّا في علم الحفريات، وهذا ينطبق بالتأكيد على عملي.

تغطي قصة الإجواندون تقريبًا تاريخَ البحث العلمي في الديناصورات بأكمله، وكذلك التاريخ الكامل للعلم المعروف حاليًّا باسم علم الحفريات؛ ونتيجةً لهذا، فإن هذا الحيوان يوضِّح دون قصدٍ تطوُّرَ البحث العلمي في مجال الديناصورات (والمجالات الأخرى في علم الحفريات) خلال ٢٠٠ سنة مضت. تُظهِر القصة أيضًا أن العلماء بشر، لديهم عواطف وصراعات، وتُظهِر التأثيرَ المنتشر للنظريات المفضَّلة في أوقات معينة من تاريخ هذا الموضوع.

يرجع تاريخُ السجلات الأولى الحقيقية للعظام المتحجِّرة التي أُطلِق عليها فيما بعدُ اسم «إجواندون» إلى عام ١٨٠٩؛ وهي تشكِّل — من بين أجزاء متكسِّرة من فقرات يصعب تحديدها — الجزءَ السفلي من عظمة ساق كبرى ومميَّزة للغاية، جُمِعت من محجر في قرية كوكفيلد في مقاطعة ساسكس (انظر الشكل ١-٣). جمَعَ هذه الحفريةَ على وجه التحديد ويليام سميث (الذي يُشار إليه دومًا على أنه «أبو الجيولوجيا الإنجليزية»). كان سميث في هذا الوقت يبحث في أول خريطة جيولوجية لبريطانيا، تلك التي انتهى منها في عام ١٨١٥. على الرغم من أن هذه العظام المتحجرة كان من الواضح أنها مثيرة للاهتمام بما يكفي لجَمْعها والاحتفاظ بها (لا تزال موجودةً ضمن مقتنيات متحف التاريخ الطبيعي في لندن)، فإنها لم تخضع لمزيد من الدراسة؛ فقد ظلت العظامُ مهملةً دون التعرُّف على هوِيَّتها حتى طُلِب مني تحديدُ هوِيَّتها في أواخر سبعينيات القرن العشرين.



شكل ١-٣: أول عظمة من عظام الإجواندون تُكتشَف على الإطلاق، على يد ويليام سميث في قرية كوكفيلد في مقاطعة ساسكس، عام ١٨٠٩.

مع ذلك، كان عام ١٨٠٩ وقتًا مناسبًا على نحو استثنائي لحدوث مثل هذا الاكتشاف؛ فقد كانت أمور كثيرة تحدث في أوروبا في فرع العلوم المختص بالحفريات ومعناها. في ذلك الوقت، كان أحدُ كبار العلماء وأكثرهم تأثيرًا في هذا العصر — جورج كوفييه (١٧٦٩–١٨٣٢) — أحدَ «مؤيدي المذهب الطبيعي»، وكان يعمل في باريس، وقد تَقَلَّد منصبًا إداريًّا في حكومة الإمبراطور نابليون. كان «مؤيدو المذهب الطبيعي» في هذا الوقت يمثلون طيفًا واسع النطاق من العلماء-الفلاسفة العاكفين على دراسة نطاق واسع من الموضوعات المرتبطة بالعالم الطبيعي؛ مثل الأرض وصخورها ومعادنها وحفرياتها، وجميع الكائنات الحية. وفي عام ١٨٠٨، أعاد كوفييه وصْفَ حفرية ضخمة شهيرة لأحد

الزواحف، استُخرِجت من محجرٍ طباشيريٍّ في ماستريخت في هولندا؛ وقد نبعت شهرتُها من حقيقة الزعم بأنها كانت إحدى غنائم الحرب خلال حصار جيش نابليون لماستريخت في عام ١٧٩٥. حدَّدَ كوفييه هويةَ هذا الكائن — الذي صُنِّف خطأً في البداية على أنه تمساح — على نحو صحيح، بوصفه سحلية مائية ضخمة (أطلق عليها فيما بعدُ رجلُ الدين الإنجليزي المؤيِّدُ للمذهب الطبيعي القسُّ ويليام دي كونيبير، اسمَ الموزاصور). إن تأثيرَ هذا الاكتشاف (وجود سحلية متحجرة ضخمة الحجم على نحو غير متوقَّع في وقت سابق من تاريخ الأرض) كان عميقًا بالفعل؛ فقد شجَّع البحثَ عن «سحالٍ» ضخمة منقرضة أخرى واكتشافها، وأثبت — دون أي مجال للشك — أن «العوالم المبكرة» السابقة على ظهور الإنجيل كان لها وجود بالفعل، كما حدَّدَ طريقةً معينة للنظر لمثل هذه الكائنات المتحجرة وتفسيرها؛ بوصفها سحاليَ عملاقةً.

عقب هزيمة نابليون واستعادة السلام بين إنجلترا وفرنسا، تمكَّن كوفييه أخيرًا من زيارة إنجلترا في ١٧١٧–١٧١٨، والتقى بعلماء يشاركونه الاهتماماتِ نفسها. وفي أكسفورد عُرِضت عليه بعضُ العظام المتحجرة العملاقة في مجموعات العالِم الجيولوجي ويليام باكلاند؛ بَدَا أن هذه العظام تنتمي لكائن عملاق يشبه السحلية، لكنه هذه المرة يعيش على الأرض، وذكَّرَتْ كوفييه بعظام مشابهة عُثِرَ عليها في نورماندي. أطلق ويليام باكلاند في النهاية على هذا الكائن اسمَ «ميجالوصور» في عام ١٨٢٤ (مع قليل من المساعدة من كونيبير).

مع هذا، من منظور هذه القصة على وجه الخصوص، فإن الاكتشافات المهمة فعليًّا لم تحدث إلا في عام ١٨٢١–١٨٢٢، في المحاجر نفسها، حول مكان يُعرَف باسم وايتمانز جرين في كوكفيلد، زاره ويليام سميث قبل هذا بنحو ١٣ عامًا. في هذا الوقت، كان ثمة طبيب نَشِط وطموح يُدعَى جيديون ألجيرنون مانتل (١٧٩٠–١٨٥٢) يعيش في مدينة لويس، يكرِّس كلَّ وقت فراغه في استكمال تقرير مفصَّل حول التكوين الجيولوجي والحفريات في مقاطعة ويلد مسقط رأسه (وهي منطقة تضمُّ جزءًا كبيرًا من سوري وساسكس وجزءًا من كِنت) في جنوب إنجلترا. انتهى عمله بكتاب ضخم مثير للإعجاب مزوَّد بقدر كافٍ من الصور الإيضاحية نُشِرَ عام ١٨٢٢، وقد احتوى هذا الكتاب على وصف واضح للعديد من أسنان وأضلاع الزواحف الضخمة غير المألوفة، التي لم يستطع تحديد هويتها جيدًا؛ فقد اشترى مانتل كثيرًا من هذه الأسنان من عمَّال المحجر، في حين جمعَتْ زوجتُه — ماري آن — مجموعةً أخرى. شهدت السنوات الثلاث التالية كفاحَ مانتل



شكل ١-٤: إحدى أسنان الإجواندون الأصلية التي عَثَر عليها مانتل.

من أجل تحديد نوع الحيوان الذي ربما تنتمي له هذه الأسنان الضخمة المتحجرة، وعلى الرغم من عدم تدرُّبه في مجال التشريح المقارن (تخصُّص كوفييه)، فإنه أجرى اتصالات مع العديد من الرجال المتعلمين في إنجلترا، على أمل الحصول على بعض المعلومات عن وجود نماذج مشابهة لحفرياته، كما أنه أرسل بعضًا من عيناته الثمينة إلى كوفييه في باريس ليتعرَّف عليها. في البداية، رُفِضت اكتشافاتُ مانتل — حتى من جانب كوفييه — بوصفها أجزاءً من حيوانات حديثة (ربما تكون أسنانًا قاطعةً لحيوان وحيد القرن، أو لإحدى الأسماك العظمية الكبيرة الحجم الآكِلة للشُّعب المرجانية). لم يثبِّط هذا من عزيمة مانتل واستمرَّ في بحث مشكلته، وفي النهاية توصَّلَ إلى حلٍّ محتمَلٍ؛ فقد عُرِض عليه في المجموعات الموجودة بالكلية الملكية للجراحين في لندن هيكلٌ عظمي لسحلية الإجوانا؛ وهي

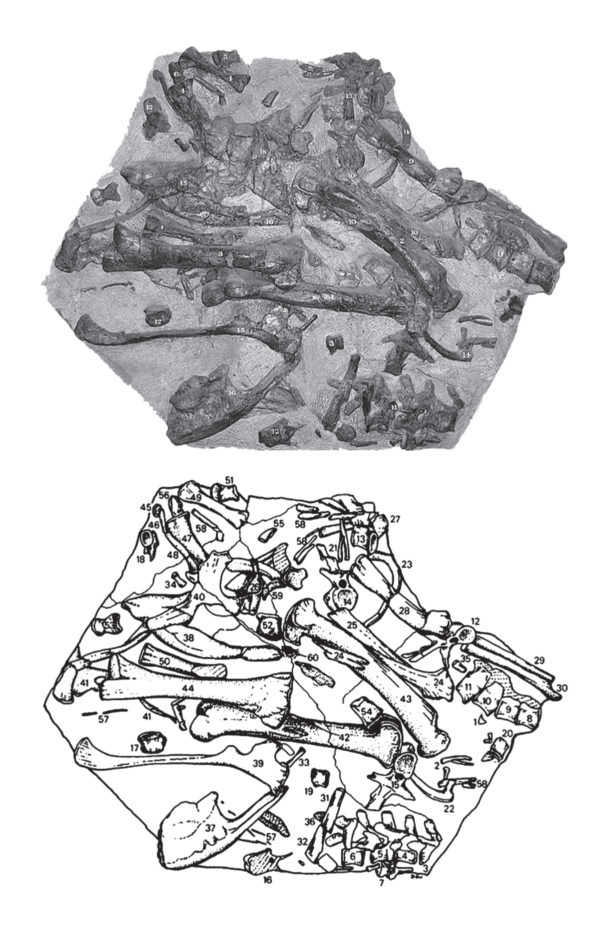
سحلية آكلة للعُشب عُثِر عليها حديثًا في أمريكا الجنوبية. كانت الأسنان تشبه في شكلها العام حفريات مانتل؛ ممَّا أوضح له أن هذه الحفريات تنتمي لحيوان ضخم منقرض آكِل للعُشب، تربطه صلةُ قرابة بالإجوانا التي تعيش في وقتنا الحالي. نشر مانتل تقريرًا عن اكتشافه الجديد في عام ١٨٢٥، ولا عجبَ أن الاسم الذي اختاره لهذا الكائن المتحجِّر كان «إجواندون»؛ إذ يعني هذا الاسم حرفيًّا «سِن الإجوانا»، لكنه ابتُكر بناءً على اقتراحٍ من كونيبير (من الواضح أن تدريب كونيبير وطريقة تفكيره الكلاسيكية منحَاه قدرةً فطريةً على تسمية كثير من هذه الاكتشافات المبكرة).

ليس من الغريب أن هذه الاكتشافات المبكرة — في ظلِّ المقارنات المتاحة في هذا الوقت — أكَّدَتْ وجودَ عالَمٍ قديمٍ عاشت فيه سحالٍ ضخمة على نحوٍ لا يُصدَّق؛ على سبيل المثال: يوضِّح قياسٌ بسيطٌ للأسنان الصغيرة الحجم للإجوانا التي تعيش بيننا (التي يبلغ طولها مترًا واحدًا)، مع أسنان الإجواندون الذي اكتشفه مانتل؛ أن طول جسم الإجواندون يزيد عن ٢٥ مترًا. شعر مانتل بالحماس والشهرة الشخصية بعد وصف الإجواندون؛ ممَّا دفعه إلى بذل مزيد من الجهود من أجل اكتشاف المزيد عن هذا الحيوان والكائنات المتحجرة التي عاشت في مقاطعة ويلد القديمة.

طوال عدة سنوات بعد عام ١٨٢٥، لم تُكتشَف إلا أجزاء من حفريات ويلد، ثم في عام ١٨٣٤ اكتُشِف هيكل عظمي جزئي مفكَّك (الشكل ١-٥) في محجر في بلدة ميدستون في مقاطعة كِنت، وفي النهاية اشتراه مانتل وأطلق عليه اسمَ «قطعة مانتل»، واتضح أنه كان مصدرَ الإلهام وراء كثير من أعماله التالية، ونتج عنه بعض من التصورات الأولى التي ظهرت عن الديناصورات (الشكل ١-٦). استمر مانتل في دراسة تشريح الإجواندون وتكوينه الحيوي في السنوات التالية، لكن معظم هذه الجهود — مع الأسف — غطَّى عليه ظهورُ عدوٍّ شخصي واسع القدرة، وصلاته جيدة، وطَمُوح وقاسي القلب؛ وهو ريتشارد أوين (١٨٠٤–١٨٩٢) (انظر الشكل ١).

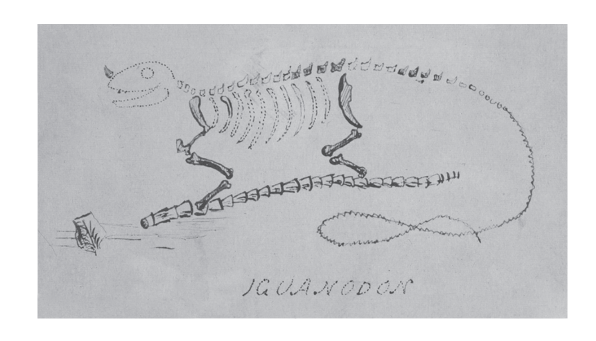
«اختراع» الديناصورات

كان ريتشارد أوين أصغرَ من مانتل بأربعة عشر عامًا، وقد درس أيضًا الطب، لكنه ركَّز تحديدًا على التشريح. اشتهر أوين بكونه عالِمَ تشريحٍ ماهرًا، وتقلَّدَ منصبًا في الكلية الملكية للجراحين في لندن، وهو ما أتاح له الوصول إلى كمٍّ كبير من المواد المُقارَنة، وسمح



شكل ١-٥: صورة فوتوغرافية ورسم توضيحي لـ «قطعة مانتل»؛ وهي عبارة عن هيكل عظمي جزئي اكتُشِف في بلدة ميدستون بمقاطعة كنت في عام ١٨٣٤.

له — بكثيرٍ من الجهد والمهارة — بالحصول على لقب «كوفييه الإنجليزي». طوال أواخر الثلاثينيات من القرن التاسع عشر، تمكَّنَ من إقناع الجمعية البريطانية للعلوم بمنحه أموالًا من أجل إعداد تقرير مفصَّل حول جميع ما كان يُعرَف في هذا الوقت باسم حفريات الزواحف البريطانية؛ وقد أدَّى هذا في النهاية إلى نشره سلسلةً من المجلدات

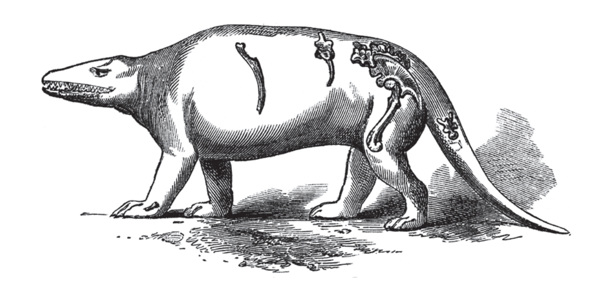


شكل ١-٦: رسم مانتل التخطيطي الذي يعيد فيه بناءَ شكل الإجواندون (١٨٣٤ تقريبًا).

الضخمة المزوَّدة بقدرٍ كافٍ من الصور الإيضاحية، على غرار الأعمال ذات الأهمية الكبرى (التي من أبرزها كتابُه «العظام الحفرية» المكوَّن من عدة مجلدات) التي نشرها كوفييه في أوائل هذا القرن، كما أنها قدَّمَتْ دعمًا أكبرَ لسُمعة أوين العلمية.

نتج عن هذا المشروع إصداران مهمَّان: أحدهما في عام ١٨٤٠ عن معظم الحفريات البحرية (الزواحف البحرية المنقرضة «إيناليوصوريا»، على حدِّ تسمية كونيبير)، والآخَر في عام ١٨٤٢ يتحدَّث عن بقية الحفريات، بما في ذلك الإجواندون الذي اكتشفه مانتل. كذلك، فإن تقرير عام ١٨٤٢ هو وثيقة جديرة بالملاحظة بسبب ابتكار أوين تسميةً جديدة، وهي: «القبيلة أو الفئة الفرعية ... التي ... أَطلقتُ عليها ... ديناصوريا». عرَّفَ أوين ثلاثةَ أنواع من الديناصورات في هذا التقرير: إجواندون وهيليوصورس، وكلاهما اكتُشِف في ويلد، وأطلق مانتل عليهما هذين الاسمين؛ وميجالوصور، وهو نوعٌ من الزواحف عملاقٌ من أكسفورد. وأوضح أوين أن الديناصورات أعضاء في مجموعة فريدة وغير معروفة حتى الآن على أساس العديد من الملاحظات التشريحية المفصَّلة والمميزة؛ ومن هذه الملاحظات عظمُ العجز المتضخِّم (جزء بالغ القوة يربط الأردافَ بالعمود الفقري)، والأضلاعُ الثنائية الرأس في منطقة الصدر، وتكوينُ الأرجل الذي يشبه الدعامة (انظر الشكل ١-٧).

عندما راجَعَ أوين كلَّ ديناصور على حدة، اقتطع أبعادَه كثيرًا؛ إذ اقترح أنها كانت ضخمةً، لكنها تراوحت بين ٩ أمتار و١٢ مترًا، بدلًا من الأطوال المبالَغ فيها التي اقترحها كوفييه ومانتل وباكلاند في أوقات سابقة. بالإضافة إلى هذا، فكَّرَ أوين أكثر في تشريح هذه



شكل ١-٧: نموذج أُعِيدَ بناؤه لديناصور الميجالوصور لأوين (١٨٥٤ تقريبًا).

الحيوانات وتكوينها الحيوي، باستخدام مصطلحات لها وقْعٌ استثنائي في ظلِّ التفسيرات الحالية للتكوين الحيوي للديناصورات وطريقة حياتها.

من بين تعليقاته الختامية في التقرير، لاحَظ أن الديناصورات:

> بلغت أكبر الأحجام، ولا بد أنها لعبت أبرزَ الأدوار — كلٌّ بحسب طبيعته كأنواع ملتهمة للحيوانات وأخرى آكِلة للخضراوات — التي شهدتها هذه الأرض على الإطلاق، في الكائنات التي تبيض وتندرج ضمن ذوات الدم البارد.
>
> (أوين ١٨٤٢)

وكذلك قوله:

> إن الديناصورات ذات التكوين الصدري المماثِل للتمساح، يمكن استنتاج أنه كان بها قلب ذو أربع حجرات ... يقترب إلى حدٍّ كبير من القلب الذي يميِّز حاليًّا الثدييات ذوات الدم الحار.
>
> (المرجع نفسه)

من ثمَّ، تَصوَّر أوين كائنات ضخمة شديدة الاكتناز، لكنها تبيض ولديها حراشف (لأنها ما زالت من الزواحف)، تشبه أكبرَ الثدييات الموجودة في المناطق الاستوائية على الأرض في وقتنا الحالي؛ ومن ثمَّ كانت ديناصوراته في الواقع أبرزَ الكائنات على سطح

الأرض في وقتٍ كانت فيه السيادةُ للزواحف التي تبيض وجلدها مغطًّى بالحراشف. لقد كانت ديناصورات أوين النظيرَ المكافئ في العالَمِ القديم للأفيال وحيوانات وحيد القرن وفرس النهر في عصرنا الحالي. وعند النظر إلى هذه الفكرة بمنطق الاستنتاج العلمي المحض، استنادًا إلى هذه الآثار القليلة، نجد أن هذه الفكرة لم تكن حاسمةً على نحو رائع فحسب، بل كانت أيضًا في مجملها رؤيةً جديدةً ومبتكَرةً لكائنات من الماضي السحيق. إن مثل هذه الرؤية المذهلة تكون أكثرَ جاذبيةً وتشويقًا عند مقارنتها بنماذج «السحالي العملاقة»، على الرغم من أن هذه النماذج كانت تمثِّل تفسيراتٍ عقلانيةً ومنطقيةً تمامًا، قامت على مبادئ كوفييه المتعارَف عليها والمُحترِمة للتشريح المُقارَن.

كان لابتكار فئة «ديناصوريا» أهداف أخرى مهمة في هذا الوقت؛ فقد قدَّمَتِ التقاريرُ أيضًا تفنيدًا شاملًا لحركتَيِ الارتقاء والتحوُّل داخل مجالات الأحياء والجيولوجيا خلال النصف الأول من القرن التاسع عشر. أشار مؤيِّدو حركة الارتقاء إلى أن السجل الحفري بَدَا أنه يشير إلى أن الحياة أصبحت تدريجيًّا أكثرَ تعقيدًا؛ إذ أظهرت أقدمُ الصخور أبسطَ صور الحياة، بينما أظهرَتِ الصخورُ الأكثر حداثةً أدلةً على كائنات أكثر تعقيدًا. أما مؤيِّدو حركة التحوُّل، فقد أشاروا إلى أن أفراد النوع الواحد ليسوا متماثلين، وفكَّروا فيما إذا كان هذا التنوُّع قد يسمح أيضًا للأنواع بالتغيُّر بمرور الوقت. اقترح جان بابتيست دي لامارك — زميل كوفييه في باريس — أن أنواع الحيوانات قد تتحوَّل، أو تتغيَّر، في شكلها بمرور الوقت عن طريق توارث الصفات المُكتسَبة. تحدَّتْ هذه الأفكارُ المعتقَدَ السائد والمستمَد من الإنجيل بأن الله قد خلق كل الكائنات الموجودة على سطح الأرض؛ وخضعَتْ لمناقشة حادة على نطاق واسع.

قَدَّمت الديناصورات — وفي الواقع، كثيرٌ من مجموعات الكائنات الموضَّحة في تقارير أوين ذات الطابع الورِع — دليلًا على أن الحياة على الأرض لم تزدَدْ تعقيدًا بمرور الوقت، بل إن العكس هو الصحيح في حقيقة الأمر؛ فقد كانت الديناصورات من الناحية التشريحية نوعًا من الزواحف (بمعنى أنها تنتمي للفئة العامة من الفقاريات الواضِعة للبيض ذات الدم البارد والحراشف)، لكن الزواحف التي تعيش حاليًّا هي فئة أبسط من الكائنات عند مقارنتها بديناصورات أوين الضخمة، التي عاشت خلال حقبة الحياة الوسطى. باختصار، حاوَلَ أوين قمْعَ المذهب العقلي المتطرِّف المدفوع بالآراء العلمية في هذا الوقت، من أجل إعادة ترسيخ فهْمٍ لتنوُّع الحياة يقترب في الأساس الذي يستند إليه من وجهات النظر التي تبنَّاها القَسُّ ويليام بيلي في كتابه «اللاهوت الطبيعي»، الذي أظهر

فيه أن الله هو صاحب الدور المحوري بوصفه خالِقَ كلِّ الكائنات الموجودة في الطبيعة وصانِعَها.

ازدادت شهرةُ أوين باطرادٍ خلال أربعينيات القرن التاسع عشر وخمسينياته، وأصبح مشاركًا في اللجان المَعنيَّة بالتخطيط للمعرض الكبير الذي نُقِل من مكانه في عام ١٨٥٤. ومن الحقائق المثيرة للاهتمام أن أوين — على الرغم من كل شهرته المتزايدة — لم يكن الاسمَ الأول المرشَّح لمنصب المدير العلمي المشرف على تركيب الديناصورات، وإنما كان المُرشَّحُ الأول هو جيديون مانتل. رفضَ مانتل المنصبَ لاعتلال صحته المستمر، وأيضًا لأنه كان حَذِرًا للغاية من المخاطر المرتبطة بتعميم النشاط العلمي، لا سيَّما مخاطر العرض المغلوط للأفكار غير المكتمِلة.

انتهت قصة مانتل بمأساة؛ فقد أدَّى انشغالُه بالحفريات وإنشاءُ متحف شخصي، إلى انهيار مهنته كطبيب، وتفكَّكت أسرته (تركَتْه زوجته، وهاجَرَ أبناؤه الذين كانوا لا يزالون على قيد الحياة، بمجرد بلوغهم السنَّ التي تخوِّل لهم ترْكَ المنزل). إنَّ قراءةَ مذكراته التي واظَبَ على كتابتها على مدى وقت طويل من حياته، تبعث الحزنَ في النفس؛ فقد عاش وحيدًا في السنوات الأخيرة من عمره، وعانى من ألمٍ مزمنٍ في ظهره، وتُوفي إثرَ تناوُلِه جرعة زائدة من صبغة الأفيون.

على الرغم من تفوُّق أوين — العالِم الطموح الذكي الذي يخصِّص كامِلَ وقته لهذا العمل — عليه، فإن مانتل قضى جزءًا كبيرًا من العقد الأخير في حياته في إجراء أبحاثٍ على ديناصور الإجواندون الذي اكتشفه، فأصدر سلسلةً من المقالات العلمية وكُتبًا شهيرةً للغاية تلخِّص كثيرًا من اكتشافاته الحديثة، وكان أول مَن أدرَكَ (في عام ١٨٥١) أن وجهة نظر أوين بشأن الديناصورات (أو على الأقل بشأن الإجواندون) بوصفها زواحفَ ضخمةً قوية، هي على الأرجح وجهةُ نظر خاطئة. هذا وقد أظهرَتِ الاكتشافاتُ الأخرى لفكوك بها أسنان، والمزيدُ من التحليل للهيكل العظمي الجزئي (قطعة مانتل)؛ أن الإجواندون كان يتمتع بأرجلٍ خلفية قوية وأطرافٍ أمامية أصغر حجمًا وأضعف؛ ونتيجةً لهذا، استنتج مانتل أن وضعية هذا الديناصور ربما تحمل أوجُهَ تشابُهٍ كثيرةً للغاية مع الوضعية «المنتصِبة» الظاهرة في إعادة تجميع حيوانات الكسلان الأرضية العملاقة (للمفارقة، استوحى هذا من وصف أوين المفصَّل لحفرية حيوان كسلان أرضي، يُعرَف باسم ميلودون). للأسف، لم يلتفت أحدٌ إلى هذا العمل، ويرجع السبب في هذا — إلى حد كبير — إلى الحماس والدعاية التي أحاطت بنماذج ديناصورات أوين في القصر

البلوري. ولم تتضح حقيقةُ شكوك مانتل وقوةُ تفكيره إلا بعد ٣٠ سنة أخرى، وعن طريق مصادفة أخرى عجيبة.

إعادة تجميع الإجواندون

في عام ١٨٧٨ حدثَتِ اكتشافات مهمة في منجمٍ للفحم في قرية صغيرة في برنيسارت في بلجيكا؛ فعُمَّالُ المنجم، الذين كانوا ينقِّبون في طبقة من الفحم على عُمق يزيد عن ٣٠٠ متر تحت سطح الأرض، ارتطمَتْ أدواتُهم فجأةً بطَفْل في طبقة الفحم (طين ناعم صفائحي)، ثم ما لبثوا أن عثروا على ما بَدَا مثل قِطَع كبيرة من الخشب المتفحِّم، وقد جُمِعت هذه القطع بشغف شديد؛ لأنها بَدَتْ مليئةً بالذهب! وعند فحصها عن قرب، اتضح أن هذا الخشب ما هو إلا عظام متحجرة، وأن الذهب ما هو إلا «ذهب الحمقى» (بيريت الحديد). اكتُشِف أيضًا قليلٌ من الأسنان المتحجرة بين العظام، وتحدَّد أنها تشبه الأسنان التي وصفها مانتل قبل سنوات عديدة وأشار إلى أنها تنتمي للإجواندون؛ فما اكتشفه عُمَّال المنجم بالمصادفة لم يكن ذهبًا، بل كان كنزًا دفينًا حقيقيًّا من هياكل مكتمِلة لديناصورات.

على مدار السنوات الخمس التالية لذلك، استخرج فريق من عُمَّال المناجم والعلماء من المتحف البلجيكي الملكي للتاريخ الطبيعي في بروكسل (الذي أصبح حاليًّا يُعرف باسم المعهد الملكي للعلوم الطبيعية)، نحوَ ٤٠ هيكلًا عظميًّا لديناصور الإجواندون، بالإضافة إلى عدد هائل من الحيوانات والنباتات الأخرى التي حُفِظت بقاياها في الصخور الطينية نفسها. كانت هياكل كثيرة لهذا الديناصور مكتمِلةً ومترابطةً بالكامل، وكانت تمثِّل أروعَ اكتشاف ظهر في أي مكان في العالم في ذلك الوقت. ولعب حُسْنُ الحظِّ دورًا كبيرًا في حياة عالِم شاب في بروكسل، يُدعَى لويس دولو (١٨٥٧–١٩٣١)؛ حيث تمكَّنَ من دراسة هذه الثروات الاستثنائية ووصفها، وقد عكف على هذا من عام ١٨٨٢ حتى تقاعده في عشرينيات القرن العشرين.

أخيرًا، أظهرت هياكلُ الديناصورات المكتمِلة التي استُخرِجت من برنيسارت، أن نموذج أوين للديناصورات، مثل الإجواندون، لم يكن صحيحًا؛ فكما اعتقد مانتل لم تكن الأطرافُ الأمامية في نفس قوةِ وكِبَرِ حجم الأرجل الخلفية، في حين كان للحيوان ذيل ضخم (انظر الشكل ١-٩)، وأبعادُ جسمه بوجه عام تشبه أبعادَ جسمِ كنغر ضخمٍ.

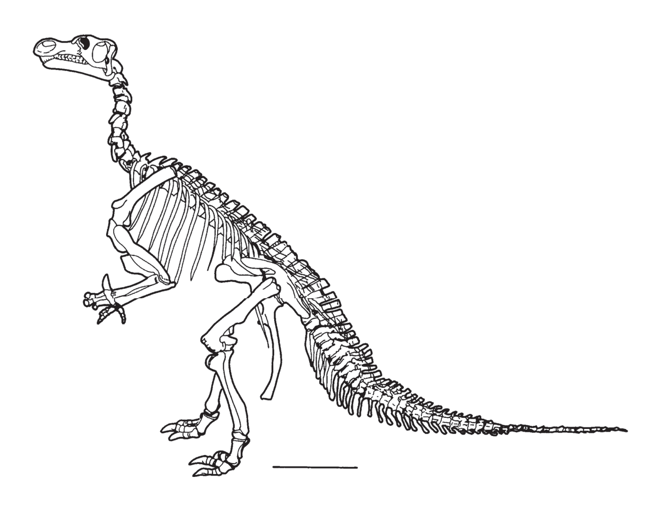
إنَّ ترميم الهياكل العظمية، والطريقة التي يُنفَّذ بها، يكشفان عن دلالات خاصة؛ إذ إنهما يُظهِران مدى تأثير التفسيرات المعاصرة لشكل الديناصورات وأوجه الشبه بينها،



شكل ١-٨: لويس دولو (١٨٥٧–١٩٣١).

على عمل دولو. وُجِّهت شكوكٌ إلى تصوُّر أوين للديناصورات على أنها «زواحف هائلة الحجم» في وقت مبكر في عام ١٨٥٩، بسبب بعض الاكتشافات المثيرة لديناصورات غير مكتمِلة في ولاية نيوجرسي درسها جوزيف ليدي، الذي كانت له المكانةُ العلمية نفسها التي كانت لأوين، وكان مقرُّ عمله في أكاديمية العلوم الطبيعية في فيلادلفيا. إلا أن أوين سيتعرَّض لنقد أكثر حدةً بكثير من عالِم شاب طموح منافِس له يعيش في لندن، وهو توماس هنري هكسلي (١٨٢٥–١٨٩٥).

في أواخر ستينيات القرن التاسع عشر ظهرت اكتشافاتٌ جديدة زادت كثيرًا من الجدل الدائر حول العلاقات القائمة بين الديناصورات والحيوانات الأخرى؛ فقد اكتُشِفت أول حفرية محفوظة جيدًا لطائر (يُسمَّى أركيوبتركس أو «الجناح العتيق») في ألمانيا (الشكل ١-١٠)؛ اشتراه في النهاية من مكتشِفه الخاص متحفُ التاريخ الطبيعي في لندن، وقدَّمَ ريتشارد أوين وصفًا له في عام ١٨٦٣. كانت هذه العينة استثنائيةً؛ إذ وُجِدت بها آثار محفوظة جيدًا للريش الذي هو العلامة المميِّزة الأساسية لأي طائر، وكانت هذه الآثارُ تشكِّل هالةً في التكوين الصخري حول الهيكل العظمي، إلا أنها لم تكن تشبه أيَّ طائر على قيد الحياة، وإنما كانت تشبه — على نحوٍ مُربِكٍ — الزواحفَ الحديثة؛ فقد كان لدى الهيكل أيضًا ثلاث أصابع طويلة في كل يد، تنتهي بمخالب حادة، وكانت لديه أسنان في

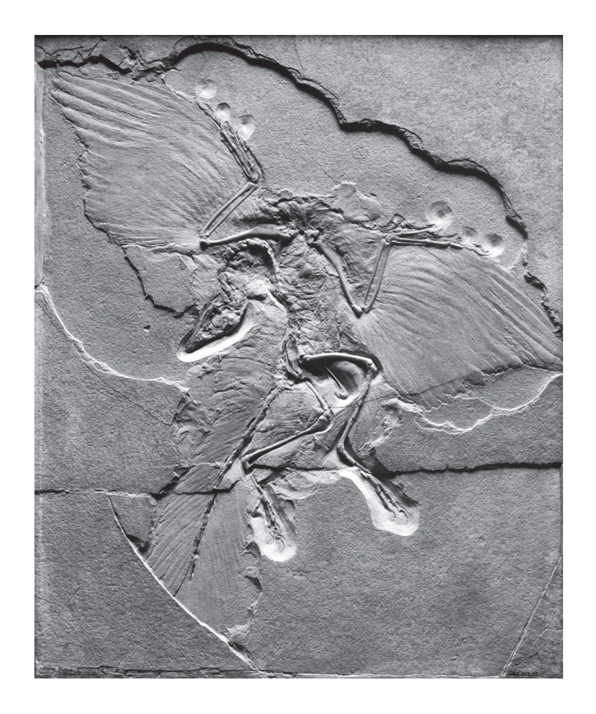


شكل ١-٩: رسم لهيكل عظمي يخص ديناصور الإجواندون.

فكَّيْه، وذيل عظمي طويل (ربما تمتلك بعض الطيور التي تعيش في الوقت الحالي ذيولًا طويلة، لكن ليس هذا سوى شكل الريش الملتصق بجزء قصير من الذيل).

لم يمضِ وقت طويل على اكتشاف أركيوبتركس حتى عُثِر على هيكل عظمي آخَر صغير محفوظ جيدًا في المحاجر نفسها بألمانيا (الشكل ١-١١)؛ لم تكن به أيُّ آثارٍ لريش، وكانت ذراعاه قصيرتين للغاية بحيث يصعب استخدامهما كجناحين على أية حال، وكان من الواضح من الناحية التشريحية أنه ديناصور مفترِس صغير، وسُمِّيَ «كومبسوجناثز» (بمعنى الفك الجميل).

ظهر هذان الاكتشافان في وقت حساس على وجه الخصوص من الناحية العلمية؛ ففي عام ١٨٥٩، قبل عام تقريبًا من اكتشاف الأركيوبتركس، نشر تشارلز داروين كتابه «أصل الأنواع». قدَّم هذا الكتاب عرضًا مفصَّلًا للغاية للأدلة المؤيِّدة للأفكار التي طرحها مؤيِّدو حركتَي الارتقاء والتحوُّل المشار إليهما آنفًا، وأهم من ذلك أن داروين اقترح آليةً — هي الانتقاء الطبيعي — تعبِّر عن الطريقة التي ربما تحدث بها هذه التحوُّلات، والطريقة التي تظهر بها الأنواع الجديدة على كوكب الأرض. أثار الكتاب الاهتمام في ذلك الوقت؛ لأنه قدَّم تحديًا مباشرًا لسلطة التعاليم الإنجيلية المعترَف بها عالميًّا تقريبًا، من خلال



شكل ١-١٠: عينة لحفرية أركيوبترِكس محفوظة جيدًا، اكتُشِفت عام ١٨٧٦ (يبلغ طولها ٤٠ سنتيمترًا تقريبًا).

الإشارة إلى أن الله لم يخلق كلَّ الأنواع المعروفة في العالَمِ مباشَرةً. عارضت الشخصياتُ البارزة في المؤسسات الدينية، أمثال ريتشارد أوين، أفكارَ داروين، وفي المقابل، كان ردُّ فعل المفكرين الثوريين إيجابيًّا للغاية تجاه أفكار داروين؛ فيقال إن توماس هكسلي صرَّحَ — عقب قراءة كتاب داروين — قائلًا: «إنه لَغباءٌ مني للغاية ألَّا أفكِّر في هذا!»

على الرغم من عدم رغبة هكسلي في التورُّط كثيرًا في المسائل الداروينية، فإن ما حدث هو أنه تعرَّض إلى الاكتشافات الخاصة بالديناصورات في بعض المناقشات؛ إذ أدرك هكسلي سريعًا أن هيكلَيِ الأركيوبترِكس والديناصور المفترس الصغير كومبسوجناثز متماثِلان تشريحيًّا، وفي أوائل السبعينيات من القرن التاسع عشر، اقترح هكسلي أن الطيور والديناصورات ليست متماثِلةً من الناحية التشريحية فحسب، وإنما استخدَمَ هذا الدليل



شكل ١-١١: الهيكل العظمي لديناصور كومبسوجناثز (يبلغ طوله ٧٠ سنتيمترًا تقريبًا).

من أجل دعم نظرية أن الطيور قد تطوَّرت من الديناصورات. كانت الساحةُ ممهِّدةً في كثير من النواحي لظهور اكتشافات في بلجيكا، وفي أواخر سبعينيات القرن التاسع عشر، أدرك لويس دولو — الطالب الشاب الذكي — تمامًا العداواتِ بين أوين-هكسلي وداروين، وكان لا بد من طرح سؤال مُلِحٍّ في هذا السياق، وهو: هل كانت لهذه الاكتشافات الجديدة أية صلة بالجدل العلمي الكبير القائم في ذلك الوقت؟

أظهرت الدراسة التشريحية الدقيقة للهيكل الكامل للإجواندون أن تكوين الورك لديه يجعله ينتمي إلى المجموعة المعروفة باسم طيريات الورك. بالإضافة إلى هذا، كانت رجلاه الخلفيتان طويلتين وفي نهاية كلٍّ منهما قدمٌ ضخمة، لكنها تشبه بالتأكيد أقدام الطيور

التي تكون بها ثلاثُ أصابع (تشبه في شكلها كثيرًا أقدامَ بعضٍ من أكبر الطيور المعروفة التي تعيش على الأرض، مثل طائر الإيمو). كذلك، كانت رقبة هذا الديناصور مقوَّسةً تشبه رقبةَ الطيور، وكان طرفَا فكَّيْه العلوي والسفلي خاليَيْن من الأسنان ومغطَّيَيْن مجددًا بمنقار قرني يشبه منقار الطيور. وفي ظل مهمة الوصف والتفسير التي وجد دولو نفسه أمامها عقب هذه الاكتشافات المثيرة مباشَرةً، يجدر بنا أن نشير إلى أنه أمكَن رؤية هيكلين لكائنين أستراليين؛ هما: الولب — أحد أنواع الكنغر — وطائر ضخم لا يطير يُعرَف باسم الشبنم، بجوار الهيكل العظمي الضخم للديناصور، وذلك في الصور الفوتوغرافية الأولى التي الْتُقِطت في وقت إعادة تجميع الهيكل العظمي الأول في بروكسل.

لا شك أن الجدل المحتدم في إنجلترا كان له تأثيره؛ فقد اتضحَتْ من هذا الاكتشاف الجديد الحقيقةُ المتضمنةُ في حُجج هكسلي، وتبيَّنَ أن مانتل كان يسير على النهج الصحيح في عام ١٨٥١؛ فلم يكن الإجواندون وحيد قرن مغطًّى بالحراشف، يمشي متثاقلًا، مثلما صوَّره أوين في نماذجه عام ١٨٥٤، بل كان كائنًا ضخمًا يشبه في وضعيته كنغرًا مضجعًا، لكنه يتَّسِم بعدد من صفات الطيور، تمامًا كما تنبَّأَتْ نظريةُ هكسلي.

أثبتَ دولو بسهولة أنه يتمتع بحسٍّ ابتكارٍ لا ينضب في أسلوب تعامُله مع حفريات الكائنات التي وصفها؛ فقد شرَّحَ تماسيح وطيورًا من أجل التوصُّل إلى فهمٍ أفضل للتكوين الحيوي والجهاز العضلي المفصَّل لهذه الحيوانات، ولكيفية استخدام هذا في التعرُّف على الأنسجة الرخوة للديناصورات التي كان يعمل عليها. كان يستخدم بالتأكيد أسلوبَ الطبِّ الشرعي في كثيرٍ من النواحي من أجل فهم هذه الحفريات الغامضة. اعتُبِر دولو مبتكِرَ أسلوب جديد في علم الحفريات؛ وهو ما أصبح يُعرَف باسم علم الدراسة الحيوية للحفريات. أثبتَ دولو أن علم الحفريات يجب أن يتوسَّع ليشمل دراسةَ التكوين الحيوي، وبالتبعية دراسة بيئة هذه الكائنات المنقرضة وسلوكها، وكان آخِرَ إسهاماته في قصة الإجواندون بحثٌ نشره في عام ١٩٢٣ تكريمًا لمئوية اكتشافات مانتل الأصلية؛ إذ لخَّصَ باختصارٍ مفيدٍ وجهاتِ نظره عن هذا الديناصور، وعرَّفَه على أنه النظيرُ البيئي من فئة الديناصورات المكافِئُ للزرافة (أو هو في الواقع حيوان الكسلان الأرضي الضخم الذي قدَّمَه مانتل). استنتج دولو أن وضعية جسمه مكَّنَتْه من الوصول إلى أعالي الأشجار لجمع طعامه، الذي كان يستطيع إدخالَه في فمه باستخدام لسان عضلي طويل، وكان يستخدم منقارَه الحاد في قطع جذوع النبات القوية، في حين كانت الأسنان المميزة تُستخدَم في طحن الطعام قبل بلعه. أُقِرَّ هذا التفسيرُ البالغ الدقة بشدة؛ نظرًا لاعتماده على هياكل



شكل ١-١٢: إعادة تجميع هيكل الإجواندون في متحف التاريخ الطبيعي في بروكسل عام ١٨٧٨. لاحِظْ هيكلَي الشبنم والولب المُستخدَمَيْن في المقارنة.

عظمية مكتمِلة ومتَّصِلة؛ لذا ظلَّ راسخًا — حرفيًّا ومجازيًّا — دون الطعن فيه على مدى السنوات الستين التالية لذلك. وممَّا دعم هذا توزيعُ نُسَخٍ طِبْق الأصل من هياكل مركَّبة للإجواندون من بروكسل، على كثيرٍ من المتاحف الكبرى حول العالَم خلال السنوات الأولى من القرن العشرين، وكذلك توزيع كثير من الكتب الشهيرة والمؤثِّرة التي كُتِبت حول الموضوع.

تدهور علم حفريات الديناصورات

من المفارقة أن اكتمالَ عمل دولو المميَّز عن هذا الديناصور، والاعترافَ العالمي به بوصفه مبتكِرَ عِلْمِ الدراسة الحيوية للحفريات في عشرينيات القرن العشرين؛ قد شكَّلَا بدايةَ تدهورٍ خطيرٍ في الأهمية الملحوظة لهذا المجال البحثي على ساحة العلوم الطبيعية الأشمل.

في الفترة ما بين منتصف العشرينيات ومنتصف الستينيات من القرن العشرين، شهد علم الحفريات — لا سيَّما دراسة الديناصورات — ركودًا غير متوقَّع. كان حماس الاكتشافات المبكرة، خاصةً تلك التي حدثت في أوروبا، قد تبعَتْه «حروبُ الأحافير» الأكثر إثارةً التي استحوذَتْ على أمريكا طوال العقود الثلاثة الأخيرة من القرن التاسع عشر، وقد تمحورت هذه الحروب حول سباق محتدم — وأحيانًا عنيف — لاكتشاف ديناصورات جديدة وتسميتها، واتَّسَم هذا السباق بكل السمات التي جعلت منه النظيرَ الأكاديمي لصراعات «الغرب المتوحش»؛ وكان في صدارة هذه الحروب إدوارد درينكر كوب (تلميذ الأستاذ المهذَّب والمتواضِع جوزيف ليدي)، و«معارِضه» أوثنيل تشارلز مارش من جامعة ييل؛ فقد استأجرَا عصابات من قُطَّاع الطرق للتجوُّل في وسط غرب أمريكا من أجل جمع أكبر عددٍ ممكن من العظام الجديدة التي تخصُّ ديناصورات؛ ونتجَ عن هذه «الحرب» ثورةٌ عارمة في الإصدارات العلمية التي تطلق أسماءً على عشرات من الديناصورات الجديدة، وما زال الكثير من هذه الأسماء يتردَّد صداه حتى عصرنا الحالي، مثل البرونتوصور والستيجوصور والتريسيراتوبس والديبلودوكس.

ظهرت اكتشافاتٌ أخرى على القدر نفسه من الإثارة والتشويق — بالمصادفة إلى حدٍّ ما — في أوائل القرن العشرين في أماكن أجنبية؛ مثل منغوليا على يد روي تشابمان أندروز من المتحف الأمريكي للتاريخ الطبيعي في نيويورك (وهو البطل/المُستكشِف الحقيقي الذي قامت عليه قصةُ «إنديانا جونز» الخرافية)، وكذلك في شرق أفريقيا الألمانية (تَنْزانيا) على يد فرنر يانينش من متحف التاريخ الطبيعي في برلين.

توالى اكتشاف المزيد من الديناصورات الجديدة وتسميتها في أماكن مختلفة حول العالم، وعلى الرغم من أنها كانت تمثِّل قِطعًا محوريةً مُبهِرةً في المتاحف، فقد بَدَا أن ما يفعله علماء الحفريات لا يزيد عن إضافة أسماء جديدة إلى قائمة الكائنات المنقرضة. ساد شعورٌ بالفشل، لدرجة أن البعض استخدم الديناصورات كأمثلةٍ على نظرية الانقراض استنادًا إلى «كهولة العِرق»؛ فتمثَّلت الأطروحة العامة في أنها عاشت لفترة طويلة للغاية جعلت ببساطة تكوينَها الوراثي يُستنفَد، ويصبح غيرَ قادر على إحداث التجدُّد الضروري

لبقاء الفئة بأكملها على قيد الحياة. وقد دعم هذا الأمر فكرةَ أن الديناصورات كانت مجرد تجربة في عملية تصميم الحيوانات وتطوُّرها، وقد تخطَّاها العالَمُ في النهاية.

لا عجبَ إذن أن كثيرًا من علماء الأحياء والمُنظِّرين بدءوا في النظر إلى هذا المجال البحثي على نحوٍ أكثر استياءً، كما أن الاكتشافات الجديدة — على الرغم ممَّا كان بها من إثارة لا يمكن إنكارها — لم تكن تقدِّم أيةَ معلومات بإمكانها إرشادنا في اتجاه بعينه. كان الاكتشاف يتطلَّب إجراءاتٍ شكليةً تتمثَّل في وصف هذه الكائنات وتسميتها، لكن فيما وراء هذا بَدَا الاهتمامُ كلُّه مُنْصَبًّا على تنظيم المتاحف وتنسيقها؛ بصراحةٍ أكبرَ كان يُنظَر إلى هذا العمل على أنه لا يختلف أبدًا عن «جمع الطوابع»؛ فقد أَمَدَّتْنا الديناصورات — وكثير من اكتشافات الحفريات الأخرى — بلمحات عن تنوُّع أشكال الحياة داخل السجلِّ الحَفري، لكن بخلاف هذا بَدَتْ قيمتُها العلمية موضعَ شكٍّ.

برَّرت عواملُ كثيرةٌ هذا التغيُّرَ في وجهة النظر؛ فقدَّم عمل جريجور مِندل (الذي نُشِر عام ١٨٦٦، لكنه أُهمِل حتى عام ١٩٠٠) عن قوانين الوراثة الجُسيمية (علم الوراثة)، الآليةَ الأساسية لدعم نظرية داروين عن التطوُّر عن طريق الانتقاء الطبيعي. اندمج عمل مندل على نحو رائع مع نظرية داروين من أجل ابتكار «الداروينية الجديدة» في ثلاثينيات القرن العشرين، وبضربة واحدة، استطاع علمُ الوراثة لِمندل أن يقدِّم حلًّا لواحدة من أكثر المخاوف الأساسية لدى داروين بشأن نظريته؛ وهي كيفية انتقال الصفات المستحسنة (الجينات أو الأليلات بلغة مِندل الجديدة) من جيل إلى جيل. ففي ظل عدم وجود أية آلية أفضل لفهم الوراثة في منتصف القرن التاسع عشر، افترض داروين أن الصفات أو السمات — وهي الخصائص المعرَّضة للانتقاء وفقًا لنظريته — تمتزج عندما يرثها الجيلُ التالي؛ إلا أن هذا كان خطأً فادحًا؛ لأن داروين أدرك أن الصفات المستحسنة سيقلُّ وجودها في حال امتزاجها أثناء عملية التكاثُر من جيل إلى جيل. أوضحَتِ الداروينية الجديدة الأمورَ كثيرًا، فقدَّمَ علمُ الوراثة لِمندل قدرًا من الدقة الرياضية للنظرية، وسرعان ما أنشأ هذا الحقل المُعاد إحياؤه سبلًا بحثية جديدة؛ فأدى إلى العلوم الجديدة المتمثِّلة في علم الوراثة وعلم الأحياء الجزيئي، واكتمل بنموذج كريك وواطسون للحمض النووي المنقوص الأكسجين «دي إن إيه» في عام ١٩٥٣، بالإضافة إلى تطورات هائلة في مجالَي التطوُّر السلوكي وعلم البيئة التطوري.

للأسف، لم يكن هذا الأساس الفِكري الخصب متاحًا بمثل هذا الوضوح لعلماء الحفريات. من البديهي أن الآليات الوراثية لا يمكن دراستها في الكائنات المتحجِّرة؛ لذا

بَدَا أنها لا تستطيع تقديمَ أيِّ دليل ماديٍّ للاتجاه الفكري للدراسات التطوُّرية خلال قدرٍ كبير من الفترة المتبقية من القرن العشرين. وقد توقَّعَ داروين بالفعل القيودَ المتعلِّقة بعلم الحفريات في سياق نظريته الجديدة؛ إذ أشار — باستخدام منطقه الفريد — إلى الإسهام المحدود الذي يمكن أن تقدِّمَه الحفرياتُ في أي مناقشاتٍ تتعلَّق بنظريته الجديدة عن التطوُّر؛ ففي فصلٍ في كتابه «أصل الأنواع» — مخصَّصٍ لموضوع «عيوب السجل الحفري» — أشار داروين إلى أنه على الرغم من أن الحفريات قدَّمَتْ دليلًا ماديًّا على التطور خلال تاريخ الحياة على الأرض (مشيرًا إلى حُججِ مؤيِّدي نظرية الارتقاء القديمة)، فإن التسلسلَ الجيولوجي للصخور والسجلَّ الحفري المتضمَّن داخلها غير مكتمِلين للأسف. ومن خلال تشبيه السجلِّ الجيولوجي بكتابٍ يسجِّل تاريخَ الحياة على الأرض، كتبَ يقول:

> ... من هذا المجلد، لم يُحفَظ إلا فصلٌ قصير هنا وهناك، ومن كل صفحة لا يوجد إلا سطورٌ قليلة هنا وهناك.
>
> (داروين، ١٨٨٢، الطبعة السادسة)

الدراسة الحيوية لحفريات الديناصورات: بداية جديدة

لم تعاوِد دراسةُ الحفريات الظهورَ مرةً أخرى بوصفها موضوعًا يستحوذ على اهتمامٍ أكثرَ شمولًا وأوسعَ نطاقًا، إلا في فترة الستينيات وأوائل السبعينيات من القرن العشرين؛ وكان الدافع الأساسي لإعادة إحياء هذه الدراسة جيلٌ من العلماء الشباب أصحاب الفِكر التطوري، الذين كانوا يرغبون بشدة في إثبات أن الدليل المستمَد من السجل الحفري لم يكن على الإطلاق «سرًّا خفيًّا» داروينيًّا. استند هذا العمل الجديد إلى افتراضٍ مفادُه أنه بينما يكون علماء الأحياء التطوريون مقيَّدين بالعمل مع الحيوانات الحية في عالَمٍ ثنائيِّ الأبعاد في الأساس — إذ يستطيعون دراسةَ الأنواع لكنهم لا يشهدون ظهورَ أنواع جديدة — فإن علماء الحفريات، في المقابل، يمارسون عملَهم في البُعْد الثالث المتمثِّل في الزمن. والسجل الحفري يوفِّر الوقتَ الكافي الذي يسمح بظهورِ أنواع جديدة وانقراضِ أنواع أخرى، ويسمح هذا لعلماء الحفريات بطرح أسئلة تتعلَّق بمشكلات التطوُّر، مثل: هل يقدِّم الجدولُ الزمني الجيولوجي منظورًا إضافيًّا (أو مختلفًا) لعملية التطوُّر؟ وهل

يحتوي السجلُّ الحفري على معلومات كافية تُمكِّننا من دراسته منفصِلًا، من أجل الكشف عن بعض الأسرار التطوُّرية؟

بدأت الدراسات المفصَّلة للسجل الجيولوجي في إظهار تتابعاتٍ غنية من الحفريات (خاصةً الكائنات البحرية الصَّدَفية)، وبَدَتْ تلك الحفريات أكثرَ ثراءً بكثيرٍ ممَّا تخيَّله تشارلز داروين على الإطلاق؛ نظرًا للحداثة النسبية لعمل علماء الحفريات في منتصف القرن التاسع عشر. وانبثقت عن هذا العمل ملاحظاتٌ ونظرياتٌ تتحدَّى وجهاتِ نظر علماء الأحياء عن أساليب التطوُّر الحيوي، على مدار فترات طويلة من الزمن الجيولوجي؛ فقد وُثِّقت أحداثٌ وعصورٌ من الانقراض العالمي الضخم المفاجئ للحيوانات، لم يكن من الممكن توقُّعها من نظرية داروين. بدا أن مثل هذه الأحداث تعيد ترتيبَ الجدول الزمني التطوُّري للحياة في لحظة افتراضيةٍ، وتُرجِعه إلى وضع البداية؛ وحثَّ هذا بعضَ المُنظِّرين على تبنِّي وجهةِ نظرٍ أكثر «عَرَضيةً» أو «تصادُفيةً» لتاريخ الحياة على الأرض؛ فبَدَا من الممكن إثبات التغيُّرات الواسعة النطاق — أو التي نتجت عن التطوُّر الكلي — في التنوع الحيواني العالمي بمرور الوقت، ومرةً أخرى لم نتوقَّع هذه التغييرات بناءً على نظرية داروين؛ ومن ثمَّ تطلَّبَتْ تفسيرًا.

مع هذا، من الجدير بالذكر أن نايلز إلدريدج وستيفن جاي جولد وَضَعا نظريةَ «التوازن المتقطِّع»؛ فقد اقترحَا أن النسخ البيولوجية الحديثة من نظرية التطوُّر بحاجةٍ إلى التوسُّع، أو التعديل، حتى تتلاءَمَ مع أنماط التغيُّر التي يتكرَّر ظهورُها بين الأنواع في السجل الحفري. اشتملت هذه الأنماط على فترات طويلة من الركود (فترة التوازن)، لم يُلحَظ خلالها إلا تغيراتٌ طفيفة نسبيًّا في الأنواع، وتخلَّلَتْها فتراتٌ (فاصلة) قصيرةٌ للغاية من التغيُّر السريع. لم تتناسب هذه الملاحظات جيدًا مع تنبُّؤات داروين عن التغيُّر البطيء والتدريجي في شكل الأنواع بمرور الوقت (المُسمَّى «التطوُّر التدريجي»). حثَّت هذه الأفكار أيضًا علماءَ الحفريات على التشكيك في المستويات التي قد يكون فيها الانتقاءُ الطبيعي فعَّالًا؛ فربَّما يكون مؤثِّرًا فوق مستوى الفرد في بعض الحالات.

نتيجةً لهذا، أصبح مجال الدراسة الحيوية للحفريات بأكمله أكثرَ نشاطًا وفاعليةً، وأكثرَ طرحًا للتساؤلات، وأكثرَ بحثًا في الأمور الخارجية، كما أصبح مستعِدًّا لدمج عمله على نحوٍ أكثرَ شموليةً مع مجالات أخرى من العلوم؛ فحتى أكثر علماء الأحياء التطوريين تأثيرًا — من أمثال جون ماينارد سميث، الذي لم تكن له أية علاقة بالحفريات على الإطلاق — كانوا مستعِدِّين لتقبُّل أن الدراسة الحيوية للحفريات لها إسهاماتٌ قيِّمةٌ في مجالهم.

في حين كان المجال العام للدراسة الحيوية العلمية للحفريات يُعِيد إثباتَ جدارته، شهدت أيضًا فترةُ منتصف الستينيات من القرن العشرين اكتشافاتٍ مهمةً لديناصورات جديدة، وقُدِّرَ لهذه الاكتشافات أن تكون السببَ في ظهور أفكارٍ لا تزال مهمةً في عصرنا الحالي. وكان مركز هذه النهضة متحف بيبودي في جامعة ييل، وهو مقر العمل الأصلي «لمحارِب الأحافير» أوثنيل تشارلز مارش، إلا أن النهضة هذه المرة كانت على يد جون أوستروم، وهو أستاذ شابٌّ في علم الحفريات لديه اهتمام شديد بالديناصورات.

الفصل الثاني

نهضة الديناصورات

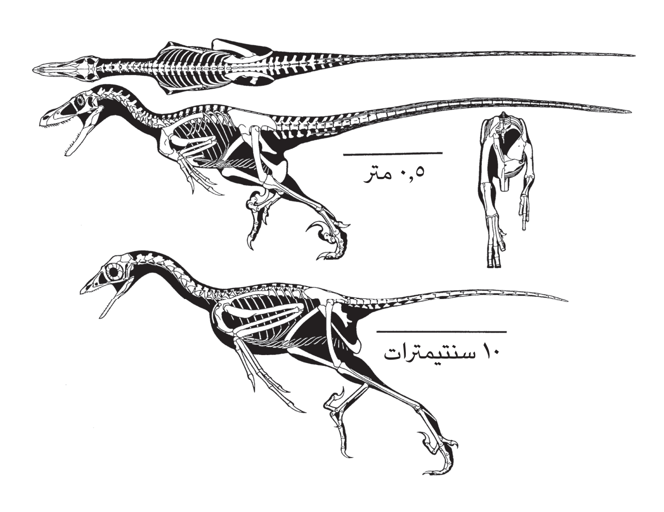
اكتشاف «المخلب الرهيب»

في صيف عام ١٩٦٤ كان جون أوستروم ينقِّب عن حفريات في صخور طباشيرية بالقرب من بلدة بريدجر بولاية مونتانا، وجمَعَ بقايا متجزئة لديناصور مفترس جديد وغير مألوف، ومع استمراره في عملية الجمع حصل على بقايا أكثر اكتمالًا، وبحلول عام ١٩٦٩ تمكَّنَ أوستروم من وصف هذا الديناصور الجديد بتفاصيل كافية وأطلق عليه اسم داينونيكس (أي المخلب الرهيب)؛ نسبةً إلى مخلبه المعقوف بطريقة مؤذية، الذي يشبه الخُطَّاف الحديدي، والموجود في قدمَيْه الخلفيتين.

كان الداينونيكس (الشكل ٢-١) ديناصورًا مفترسًا متوسط الحجم (يتراوح طوله بين مترين وثلاثة أمتار)، وينتمي إلى فئة تُعرَف باسم الثيروبودات. أشار أوستروم إلى عدد من الصفات التشريحية غير المتوقَّعة، وقد هيَّأت هذه الصفاتُ الساحةَ الفكريةَ لثورةٍ حطَّمَتِ الآراءَ الراسخة إلى حدٍّ ما في ذلك الوقت عن الديناصورات، بوصفها كائناتٍ عتيقةً وغابرةً شقَّتْ طريقَها بتثاقُل حتى انقرضت في نهاية حقبة الحياة الوسطى.

مع هذا، كان أوستروم مهتمًّا بفهم التكوين الحيوي لهذا الحيوان المحيِّر أكثر من مجرد سرْدِ سمات هيكله العظمي. كان هذا الأسلوب بعيدًا كلَّ البُعد عن اللقب التحقيري «جمع الطوابع» الذي أُطلِق على عِلم الحفريات، ويشبه طريقةَ لويس دولو في محاولاته المبكرة لفهم التكوين الحيوي للهياكل العظمية الأولى المكتمِلة لديناصور إجواندون (الفصل الأول). يوجد كثير من الأمور المشتركة بين هذا الأسلوب والطب الشرعي الحديث؛ إذ إنه يسعى إلى جمع كمٍّ كبير من الحقائق من عدد من المجالات العلمية المختلفة، من أجل التوصُّل إلى تفسير دقيق — أو فرضية — على أساس الأدلة

المتاحة، وهذه إحدى القوى المُحرِّكة المتعدِّدة وراء علم الدراسة الحيوية للحفريات في عصرنا الحالي.



شكل ٢-١: (في الأعلى): ثلاثة أشكال للهيكل العظمي للديناصور داينونيكس. (في الأسفل): رسم تخطيطي لديناصور أركيوبترِكس دون ريش لإظهار وجه الشبه الأساسي بينه وبين عائلة الثيروبودات.

سمات الداينونيكس

(١) من الواضح أن الحيوان كان ثنائي القدمَيْن (يجري على قدمَيْه الخلفيتين فقط)، وكانت قدماه طويلتين ونحيفتين.

(٢) كانت قدماه مميَّزتين؛ فمن بين الأصابع الثلاث الضخمة الموجودة في كل قدم، كان إصبعان فقط مصمَّمَتَيْن لتُستخدَمَا في السير، والإصبع الداخلية كانت تبعد عن الأرض و«منتصبةً» كما لو كانت جاهزةً للانقضاض (تشبه قليلًا نسخةً ضخمةً من المخالب الحادة القابلة للطيِّ والانكماش في كفِّ القطة).

(٣) يوازن الجزءَ الأمامي من جسم الحيوان عند وَرِكه ذيلٌ طويل، إلا أن هذا الذيل لم يكن من النوع العضلي الضخم المتوقَّع وجوده عادةً في هذه الأنواع من الحيوانات، وإنما كان من النوع

المَرِن ويحتوي على عضلات بالقرب من الوركَيْن، حيث يضيق للغاية (بما يشبه العمود تقريبًا) ويستمِدُّ صلابتَه من مجموعةٍ من القوائم العَظْمية الرفيعة المنتشرة على طول الجزء المتبقي منه.

(٤) كان صدر الحيوان قصيرًا ومكتنزًا، وتخرج منه ذراعان طويلتان توجد في نهايتهما يدان بهما ثلاث أصابع ذوات مخالب حادة (للافتراس)، مثبتتان على معصمَيْن يسمحان لليدين بالتأرجح في قوسٍ منحنٍ (بما يشبه أيدي السرعوف المُتعبِّد (فرس النبي)).

(٥) كانت رقبة الحيوان نحيلة ومقوَّسة (تشبه إلى حدٍّ ما رقبةَ الإوزَّة)، لكنها تحمل رأسًا كبيرًا للغاية مزوَّدًا بفكَّيْن طويلين بهما أسنان حادة ومقوَّسة وقاطعة، وتجويفَيْن كبيرين للعينين بارزين للأمام على ما يبدو، وجمجمة أكبر بكثير من المتوقَّع.

استنتاج التكوين الحيوي للداينونيكس وتاريخه الطبيعي

مع فحص الداينونيكس بهذا المنظور الخاص بالطب الشرعي، ما الذي يمكن أن تخبرنا به هذه السماتُ عن الحيوان وطريقة حياته؟

يؤكِّد الفكُّ والأسنان (الحادة ذات الحواف المقوَّسة والمنشارية) أن هذا الديناصور كان ضاريًا قادرًا على تقطيع فريسته وابتلاعها. كانت عيناه كبيرتين وجاحظتين للأمام، وربما أَمَدَّتاه بقدر من الرؤية المجسَّمة، التي ربما كانت مثاليةً لتقدير المسافات بدقة؛ وهي سمة مفيدة للغاية للإمساك بفريسة تتحرك بسرعة، بالإضافة إلى فائدتها في رصد الحركات الرشيقة في مساحة ثلاثية الأبعاد. يساعد هذا الأمر — ولو جزئيًّا على الأقل — في تفسير الدماغ الكبير نسبيًّا (المتوقَّع ضمنيًّا من جمجمته الضخمة)؛ فلا بد أن تكون الفصوص البصرية كبيرةَ الحجم حتى تستطيع معالجةَ كثيرٍ من المعلومات البصرية المعقَّدة حتَّى يتمكَّن الحيوان من الاستجابة سريعًا، وكذلك لا بد أن تكون المناطق الحركية في الدماغ كبيرةً ومعقَّدةً؛ حتى تعالج الأوامرَ من مراكز الدماغ العليا، ثم تنسِّق الاستجابات العضلية السريعة للجسم.

تأكَّدتِ الحاجةُ أكثرَ إلى دماغ معقَّدٍ عند دراسة البنية الخفيفة والأبعاد النحيفة لقدميه، اللتين تشبهان أقدامَ الحيوانات السريعة الحركة في عصرنا الحالي، وتشيران إلى أن الداينونيكس كان عدَّاءً. يعكس صِغَرُ حجمِ كلِّ قدم (حيث كان يمشي على إصبعين فقط بدلًا من المشي الأكثر ثباتًا على ثلاث أصابع، بما له من تأثير أشبه بحامل «ثلاثي القوائم») ضرورةَ أن يكون إحساسه بالتوازن متطورًا على نحوٍ استثنائي، ويتأكَّد هذا

أكثر من خلال حقيقة أن هذا الحيوان كان ثنائيَّ القدمين، ومن الواضح أنه كان يستطيع السيرَ باتزانٍ على قدمَيْن فقط (وهو إنجاز — كما يبرهن على ذلك الأطفال الرُّضَّع يوميًّا — يحتاج إلى تعلُّمٍ وإتقانٍ عن طريق التغذية الاسترجاعية بين الدماغ والجهاز العضلي الحركي).

فيما يتعلَّق بموضوع التوازن والتنسيق الحركي هذا، كان من الواضح أن كلَّ قدم في ديناصور «المخلب الرهيب» كانت تحتوي على سلاح هجومي، وهو ما يُستدَلُّ به على نمط الحياة الضاري لهذا الحيوان. لكن كيف كان يُستخدَم فعليًّا؟ يتبادر إلى الذهن احتمالان: أحدهما أنه كان يستطيع توجيه ضربات قاطعة نحو فريسته بأيٍّ من قدميه، مثلما يفعل بعض الطيور الداجنة الكبيرة الحجم كالنعام والشبنم في عصرنا الحالي (يشير هذا ضمنيًّا إلى قدرته على التوازن على قدم واحدة من وقتٍ لآخَر). والبديل الآخَر أنه ربما كان يهجم على فريسته ركلًا بكلتا قدمَيْه معًا، عن طريق القفز عليها أو الإمساك بها بذراعَيْه، ثم توجيه ركلة مزدوجة قاتلة لها، وهذا الأسلوب الأخير في القتال يستخدمه الكنغر عند الصراع مع منافسِيه. ومن غير المحتمَل أن نتمكَّن من تحديد التخمين الأقرب إلى الحقيقة بين تلك التخمينات.

إن ذراعَيْه الطويلتين ويدَيْه ذواتَي المخالب الحادة، قد تكون كلَّابات فعَّالة تفيد في الإمساك بالفريسة وتقطيعها إربًا في أيٍّ من هذين التصوُّرين لطريقة الإمساك بالفريسة، كما أن الحركة المائلة المثيرة للاهتمام التي تساعد في تحقيقها مفاصِلُ المِعْصَم، تدعم قدراتِ الافتراس هذه كثيرًا. بالإضافة إلى ذلك، فإن الذيل الطويل الشبيه بالسوط ربما يؤدِّي وظيفةَ الدعامة — مثل العصا التي يحملها المهرِّجُ عند سيره على حبلٍ مشدود — من أجل مساعدته في الاتزان عند توجيه الضربات لفريسته بقدم واحدة، أو ربما يكون بمنزلة أداة توازُن فعَّالة، تتأكَّد فاعليتها عند مطاردة فريسة سريعة الحركة بإمكانها تغيير اتجاهها بسرعة كبيرة، أو عند الانقضاض على الفريسة.

في حين أن هذا ليس تحليلًا تفصيليًّا للداينونيكس بوصفه كائنًا حيًّا، فإنه يقدِّم لمحةً عن بعض الأفكار المنطقية التي جعلت أوستروم يستنتج أن الداينونيكس كان ديناصورًا ذا بِنْية جسمانية قوية، وحركته منسَّقة على نحو مذهل، وربما كان أيضًا حيوانًا مفترسًا ذكيًّا. لكن لماذا يُعتبَر اكتشافُ هذا الكائن مهمًّا للغاية في مجال الدراسة الحيوية لحفريات الديناصورات؟ للإجابة عن هذا السؤال، من الضروري الحصول على رؤيةٍ أشمل عن الديناصورات بأكملها.

النظرة التقليدية للديناصورات

طوال الجزء الأول من القرن العشرين، كان يُفترَض على نطاق واسع (وربما لسبب منطقي تمامًا) أن الديناصورات مجموعة من الزواحف المنقرضة. لا يمكن إنكارُ أنَّ بعضًا منها كان ضخمَ الحجم للغاية أو غريبَ الشكل مقارَنةً بالزواحف الحديثة، لكنها ظلَّت في الأساس من الزواحف. أكَّد ريتشارد أوين (وجورج كوفييه مِن قَبله) أن الديناصورات من الناحية التشريحية كانت أكثرَ شبهًا بالزواحف الحية، مثل السحالي والتماسيح؛ وعلى هذا الأساس، وُضِعَ استنتاجٌ منطقيٌّ بأن معظم صفاتها الحيوية ستكون مشابِهةً — إن لم تكن مطابِقةً — لصفات الزواحف الحية؛ فقد كانت تضع بيضًا له قشرة صلبة، ولديها جلد مغطًّى بالحراشف، ومن الناحية الفسيولوجية كانت تنتمي إلى الحيوانات ذوات «الدم البارد» أو الخارجية التنظيم الحراري.

للمساعدة في إثبات صحة وجهة النظر هذه، اكتشف روي تشابمان أندروز أن الديناصورات المنغولية كانت تضع بيضًا له قشرة صلبة، وحدد لويس دولو (وآخرون غيره) سماتٍ بشأن جلودها الحَرْشَفية؛ لذا، كان من المتوقَّع أن تشبه هذه الديناصورات من الناحية الفسيولوجية بوجهٍ عامٍّ، الزواحفَ التي تعيش في عصرنا الحالي. لم يؤدِّ هذا المزيجُ من الصفات إلى تكوين رؤية استثنائية تمامًا عن الديناصورات؛ فهي حيوانات ضخمة وحَرْشَفية، لكنها في الأساس كائناتٌ بطيئةُ الفهم وكسولةٌ، يُزعَم أن عاداتها تشبه عاداتِ السحالي والثعابين والتماسيح، التي لم يرَ معظمُ علماء الأحياء غيرَها قطُّ في حدائق الحيوان. تمثَّل اللغزُ الوحيد في أن الديناصورات كانت أكبر حجمًا بكثيرٍ من أكبر التماسيح المعروفة.

ورد العديد من صور الديناصورات في كتب شهيرة وعلمية، تصوِّر الديناصورات وهي تتقلَّب في المستنقعات، أو وهي تجلس القرفصاء كما لو أنها بالكاد تتحمَّل أجسامَها الضخمة. أيَّدَتْ تلك المفاهيمَ بعضُ الأمثلة الجديرة بالذكر، مثل ديناصورَيْ ستيجوصور وبرونتوصور لأوثنيل تشارلز مارش؛ فقد تمتَّعَ كِلا الديناصورين بجسم ضخم ودماغ متناهي الصغر (حتى إنَّ مارش علَّقَ — في حالة من عدم التصديق — على التجويف الدماغي الذي «في حجم حبة الجوز» للستيجوصور). كان الستيجوصور يعاني نقصًا شديدًا في القدرة العقلية، حتى إنه كان من الضروري اختراع «عقل ثانٍ» له في منطقة الوركَيْن، ليكون بمنزلة محطة احتياطية أو محطة لإعادة إرسال المعلومات من أجزاء

الجسم البعيدة، ويؤكِّد هذا بدوره «غباء» أو «بساطة تفكير» الديناصورات دون أدنى شكٍّ معقول.

في حين أن الأدلة المُقارَنة تدعم بلا شكٍّ هذا المفهومَ بعينه عن الديناصورات، فإنها تجاهلَتِ الملاحظاتِ المتناقضةَ — أو ببساطة قلَّلَتْ من أهميتها — فديناصورات كثيرة، مثل ديناصور كومبسوجناثز الصغير الحجم (الشكل ١-١١)، كانت تُعرَف بخفة وزنها وقدرتها على الحركة السريعة؛ ويُفهَم ضمنيًّا من هذا أنها تمتَّعَتْ بمستويات من النشاط لا تشبه بالأحرى ما لدى الزواحف.

في ضوء هذه المجموعة من الآراء السائدة وملاحظات أوستروم وتفسيراته المبنية على ديناصور داينونيكس، يمكننا أن نعرف بسهولةٍ أكبر الكيفيةَ التي كان يستخدم بها هذا الكائنُ عقلَه؛ فقد كان الداينونيكس مفترسًا سريع الحركة وكبير الدماغ نسبيًّا، قادرًا على الركض على قدمَيْه الخلفيتين والانقضاض على فريسته؛ من الناحية المنطقية لم يكن هذا الديناصور نوعًا عاديًّا من الزواحف.

تبنَّى روبرت باكر — أحد تلاميذ أوستروم — هذه الفكرةَ عن طريق ردِّه الشديد على وجهة النظر القائلة بأن الديناصورات كائنات كسولة وغبية؛ فأشار باكر إلى وجود أدلة مُقنِعة على أن الديناصورات أكثر شبهًا بالثدييات والطيور الحالية. ولا بد ألَّا ننسى أن هذه الحُجَّة تحاكي تعليقات ريتشارد أوين البعيدة النظر على نحوٍ لا يُصدَّق في عام ١٨٤٢، عندما تخيَّلَ لأول مرة فكرة وجود الديناصورات. تُعتبَر الثدييات والطيور كائنات «مميَّزة»؛ لأنها تستطيع الحفاظَ على مستويات نشاط مرتفعة تُعزَى إلى طبيعتها الفسيولوجية، بوصفها من ذوات «الدم الحار» أو ثابتة الحرارة. تحافظ الكائنات الحية من ذوات الدم الحار على درجة حرارة الجسم مرتفعةً وثابتةً، وتتمتع برئتين على قدر كبير من الكفاءة من أجل الحفاظ على مستويات ثابتة من النشاط الهوائي، ولديها القدرة على التصرُّف بنشاط كبير أيًّا كانت درجة الحرارة المحيطة بها، ولديها أدمغةٌ كبيرة ومعقَّدة؛ وجميعها صفاتٌ تميِّز الطيور والثدييات عن الفقاريات الأخرى الموجودة على الأرض.

إنَّ نطاق الأدلة التي استخدمها باكر مهمٌّ عند التفكير فيه من منظورنا الحالي الأكثر «انضباطًا» بعض الشيء عن الدراسة الحيوية للحفريات. استعان باكر بالملاحظات التشريحية لأوستروم — التي تتفق مع أوين من قبله — ووجد أنه:

(١) للديناصورات أرجل منسَّقة مثل الدعامات تحت أجسامها (تمامًا مثل الثدييات والطيور)، وليست أرجلًا على جانبي الجسم، كما يُرَى في حالة السحالي والتماسيح.

(٢) لبعض الديناصورات رئتان معقَّدتان تشبهان ما لدى الطيور، ربما سمحت لها بالتنفُّس بكفاءة أعلى، وهو ما كانت تحتاجه كائناتٌ عاليةُ النشاط مثلها.

(٣) تستطيع الديناصورات — بناءً على أبعاد أطرافها — الركضَ بسرعة كبيرة (على عكس السحالي والتماسيح).

مع هذا، أشار باكر — في اقتباسٍ من مجالات علم الأنسجة وعلم الأمراض والفحص المجهري — إلى أنه عندما فحص مقاطعَ رفيعةً من عظام أحد الديناصورات تحت المجهر، توافر لديه دليل على وجود تركيبٍ معقَّدٍ، وإمدادٍ غني بالدم سمح بدوران المعادن الأساسية بين العظام وبلازما الدم — يضاهي تمامًا ما نراه لدى الثدييات في عصرنا الحديث.

الْتَفتَ باكر إلى مجال علم البيئة، فحلَّلَ الوفرةَ النسبية للحيوانات المفترسة وفرائسها المفترضة بين عينات الحفريات، التي تعبِّر عن مجموعات موزَّعة بحسب المتوسط الزمني، بدءًا من السجل الحفري وحتى عصرنا الحالي. وبالمقارنة بين المجموعات الحديثة من ذوات الدم الحار (القطط) وذوات الدم البارد (السحالي المفترسة)، استنتج أن ذوات الدم الحار تستهلك — في المتوسط — عشرةَ أضعاف حجم الفريسة خلال الفترة الزمنية نفسها. وعندما درس المجموعات «البرمية» القديمة، عن طريق إحصاء الحفريات المنتمية للعصر البرمي في مقتنيات المتحف، لاحَظَ أن أعداد الحيوانات المفترسة المحتمَلة وفرائسها متشابِهةٌ إلى حدٍّ ما. وعندما فحص بعض مجموعات الديناصورات من العصر الطباشيري، لاحَظَ وجودَ عدد أكبر بكثير من الفرائس المحتمَلة مقارَنةً بعدد الحيوانات المفترسة، وتوصَّلَ إلى استنتاجٍ مشابهٍ بعد دراسة مجموعات من الثدييات منتمية للعصر الثلاثي.

باستخدام هذه النماذج التمثيلية البسيطة بكل تأكيد، افترض باكر أن متطلبات التمثيل الغذائي لدى الديناصورات (أو على الأقل الديناصورات المفترسة) كانت حتمًا

أكثرَ شبهًا بمتطلباته لدى الثدييات؛ فلكي تحتفظ المجتمعات بقدر من التوازن، كان لا بد من توافر فرائس كافية لسد شهية الحيوانات المفترسة.

بحث باكر أيضًا داخل مجال الجيولوجيا والمجال «الجديد» للدراسة الحيوية للحفريات، عن أدلة حول التطوُّر الكلي (أنماط تغيُّر واسعة النطاق في وفرة الحفريات) مأخوذة من السجل الحفري؛ فحص باكر أوقات بداية ظهور الديناصورات وانقراضها من أجل البحث عن أدلة قد تكون لها صلةٌ بتكوينها الفسيولوجي المُفترَض. تزامَنَ وقتُ ظهور الديناصورات — خلال أواخر العصر الترياسي (منذ ٢٢٥ مليون سنة) — مع وقت تطوُّر بعض الكائنات الأكثر شبهًا بالثدييات؛ حيث ظهر أول الثدييات الفعلية منذ نحو ٢٠٠ مليون سنة. افترض باكر أن السبب وراء تطوُّر الديناصورات حتى أصبحت فئةً ناجحةً، يرجع ببساطة إلى ظهور التمثيل الغذائي الثابت الحرارة لديها قبل الثدييات بوقت قليل؛ وإن لم يحدث هذا — على حدِّ قوله — فإن الديناصورات لم تكن لتتمكن أبدًا من التنافس مع الثدييات الأولى الفعلية من ذوات الدم الحار. وإمعانًا في دعم هذه الفكرة، أشار باكر إلى أن الثدييات الأولى الفعلية كانت صغيرةَ الحجم، وربما كانت كائناتٍ ليليةً تأكل الحشرات وتتغذَّى على الفضلات طوال حقبة الحياة الوسطى بأكملها، عندما سادت الديناصوراتُ الأرضَ، ولم يحدث التنوُّعُ المذهل في أشكالها الذي نعرفه اليومَ إلا بعد انقراض الديناصورات في نهاية العصر الطباشيري. على هذا الأساس — كما أشار باكر — كان «لزامًا» على الديناصورات أن تصبح من ذوات الدم الحار، وإلا لكانت الثدييياتُ ذات الدم الحار التي يُزعَم أنها الثدييات «العُليا»، غزتِ الأرضَ وحلَّت محلَّ الديناصورات في أوائل العصر الجوراسي. بالإضافة إلى ذلك، عندما بحث باكر في وقت انقراض الديناصورات عند نهاية العصر الطباشيري (منذ ٦٥ مليون سنة)، اعتقد أن ثمة أدلةً على أن العالَمَ تعرَّض لفترة مؤقتة من انخفاض درجات الحرارة العالمية. ونظرًا لأن الديناصورات كانت — في رأيه — حيواناتٍ ضخمةً ومن ذوات الدم الحار و«عارية» (بمعنى أن أجسامها كانت مغطَّاة بالحراشف، ولم يكن لديها شعر ولا ريش يحافظ على دفء أجسامها)؛ لم تتمكَّن من النجاة من فترة التبريد السريع التي مرَّ بها المناخ، ومن ثمَّ انقرضت، أما الثدييات والطيور، فقد استطاعت أن تنجو وظلَّتْ على قيد الحياة إلى يومنا هذا. كانت الديناصورات ضخمة للغاية، ومن ثمَّ لم تتمكَّن من الاختباء في الجحور، كما فعلتِ الزواحف الحديثة التي من الواضح أنها نجتْ من الكارثة التي وقعت في العصر الطباشيري.

بالدمج بين كلِّ هذه الحُجج المنطقية، استطاع باكر أن يقترح فكرةَ أن الديناصورات كانت أبعد ما يكون عن الكسل والغباء؛ فالديناصورات كانت كائنات ذكية وعلى درجة كبيرة من النشاط، سرقَتْ سيادةَ العالم من قبضة الثدييات العُليا على مدى الـ ١٦٠ مليون سنة المتبقية من حقبة الحياة الوسطى. وبدلًا من أن تُطرَد من العالَم بالظهور التطوُّري للثدييات العُليا، تخلَّتْ عن سيادتها بسبب حادثة مناخية غريبة وقعت منذ ٦٥ مليون سنة.

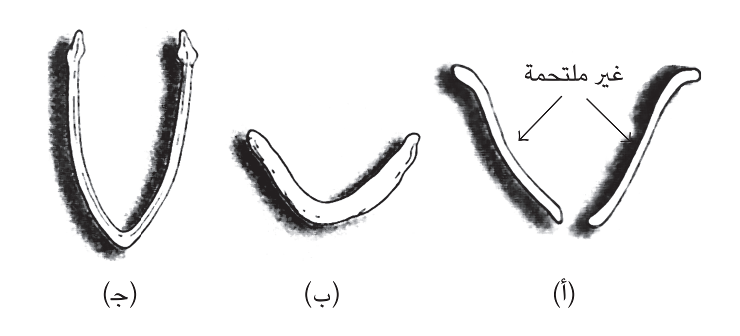
من المفترض أن يكون قد اتضح الآن أن برنامجَ العمل البحثي لعلم الدراسة الحيوية للحفريات أكثرُ اتساعًا إلى حدٍّ ما من الناحية الفكرية، فلم يَعُدْ بإمكان «الخبير» الاعتماد على معرفة متخصِّصة في مجال خبرته الضيق. مع هذا، لا ينتهي هذا الجزء من القصة هنا، فقد لعب جون أوستروم دورًا مهمًّا آخَر في هذه الملحمة.

أوستروم والطائر الأول: أركيوبترِكس

بعدما وصف أوستروم الداينونيكس، استمر في فحص الصفات الحيوية للديناصورات، وفي أوائل السبعينيات من القرن العشرين حدث اكتشاف بسيط في أحد المتاحف في ألمانيا، كان من شأنه أن يعيده إلى صدارة بعض المناقشات المحتدمة؛ فبينما كان أوستروم يفحص مجموعات من الزواحف الطائرة، لاحَظَ أن إحدى العيِّنات — التي استُخرِجت من محجر في بافاريا — لم تكن لأحد التيروصورات — أو الزواحف الطائرة — كما كان يشير الملصق الموجود عليها؛ كانت جزءًا من إحدى الأرجل يضمُّ الفخذَ ومفصلَ الركبة وقصبةَ الساق. ذَكَّرَ شكلُها التشريحيُّ المُفصَّلُ أوستروِمَ بالداينونيكس، وعند فحصها عن قرب استطاع رؤيةَ آثار ريش طفيفة! من الواضح أن هذه كانت عيِّنةً غيرَ مُتعرَّف عليها للطائر الأول الخرافي أركيوبترِكس (الشكل ١-١٠). تحمَّس أوستروم كثيرًا لاكتشافه الجديد، وارتبك بطبيعة الحال للتشابُه الواضح مع الداينونيكس، فشرع يدرس مجددًا كلَّ عينات الأركيوبترِكس المعروفة بعناية.

كلما درس أوستروم الأركيوبترِكس، زاد اقتناعُه بمدى التشابُه التشريحي بين هذا الكائن وديناصور الداينونيكس المفترس الأكبر حجمًا بكثير الذي اكتشفه (الشكل ١-٢). دفعه هذا إلى إعادة تقييم الأبحاث المهمة والموثوق بها في هذا الوقت، عن أصل الطيور التي كتبها عالِم الطيور والتشريح جيرهارد هيلمان في عام ١٩٢٦؛ فقد دفعتْ أوجهُ الشبه التشريحية العديدة بين ديناصورات الثيروبودا الآكِلة لِلُّحوم والطيور الأولى أوستروم، إلى

التشكيك في استنتاج هيلمان المطروح في هذه الأبحاث بأن أوجه الشبه هذه نتجت فقط عن التقارُب التطوُّري.



شكل ٢-٢: مقارَنة عظامِ الترقوة لكلٍّ مما يلي: (أ) ديناصورات الثيروبودا الأولى، (ب) ديناصور الأركيوبترِكس (عِظام الترقوة ملتحمة معًا)، (ج) الطيور الحديثة.

تمكَّن أوستروم — مدعومًا بمزيدٍ من الاكتشافات الحديثة لديناصوراتٍ حول العالَم — من إثبات أن عددًا من الديناصورات امتلك بالفعل عظامَ ترقوة صغيرة؛ وبذلك أزاحَ بضربة واحدة عائقًا كبيرًا وضعه هيلمان أمام انتساب الطيور في الأصل للديناصورات. تشجَّع أوستروم باكتشافه هذا وملاحظاته المفصَّلة على الثيروبودات والأركيوبترِكس، وشنَّ هجومًا شاملًا على نظرية هيلمان في سلسلةٍ من المقالات في أوائل سبعينيات القرن العشرين، وأدى هذا إلى التقبُّل التدريجي للغالبية العظمى من علماء الحفريات لانتساب الطيور لديناصورات الثيروبودا، وهو استنتاج كان من شأنه دون شكٍّ أن يُسعِد هكسلي بعيدَ النظر ويُغضِب أوين كثيرًا.

زاد التشابُه التشريحي — ومن ثَمَّ الحيوي — الوثيقُ بين الثيروبودات والطيور الأولى، من حدة الجدل الدائر حول حالة التمثيل الغذائي لدى الديناصورات؛ فالطيور كائنات من ذوات الدم الحار وعلى درجة كبيرة من النشاط، وربما كانت ديناصورات الثيروبودا تمتلك أيضًا تمثيلًا غذائيًّا عاليَ المستوى. ومن ثَمَّ، أصبح الحدُّ الفاصل الذي كان واضحًا في وقتٍ ما بين الطيور المكسوَّة بالريش — من حيث تشريحها وتكوينها الحيوي المميِّز اللذان جعلَاها منفصلةً عن أنواع الفقاريات الأخرى، بوصفها فئةً مميزةً

تُسمَّى فئة الطيور — وبين الأعضاء الأُخَر الأكثر نمطيةً في فئة الزواحف (التي تنتمي إليها الديناصورات بوصفها إحدى مجموعاتها المنقرضة)؛ أصبح هذا الحدُّ ضبابيًّا وغيرَ واضح على نحوٍ مثير للقلق، وأصبح هذا الخطُّ الضبابي ملحوظًا أكثرَ في السنوات الأخيرة (كما سنرى في الفصل السادس).

الفصل الثالث

اكتشاف جديد عن الإجواندون

إنَّ النهضةَ التي شهدها علم الدراسة الحيوية للحفريات في ستينيات القرن العشرين، والمعلوماتِ الجديدة عن الديناصورات التي تمخَّضَتْ عن عمل جون أوستروم المهم؛ قد قدَّمَتْ حافزًا إلى إعادة دراسة بعض الاكتشافات المبكرة.

رسمَ لويس دولو، بالوصف الذي قدَّمه لاكتشافات الإجواندون المذهلة في برنيسارت، صورةً لكائن عملاق (يبلغ ارتفاعُه ٥ أمتار وطوله ١١ مترًا) يشبه الكنغر؛ فكانت لديه:

> ساقان خلفيتان قويتان، وذيل ضخم كان يساعده في التوازن ... وكان من أَكَلة النباتات ... فقد كان يمسك بمجموعة من أوراق الأشجار بلسانه الطويل، ثم يجذبها إلى داخل فمه ويقضمها بمنقاره.

كانت صورة الإجواندون تعبِّر عن حيوان «يرعى الأشجارَ» يشبه الديناصور، حلَّتْ محلَّه في الماضي القريب حيواناتُ الكسلان الأرضية العملاقة في أمريكا الجنوبية والزرافات في عصرنا الحالي. أشار دولو نفسه إلى الإجواندون على أنه «زاحف أشبه بالزرافة»، لكن المفاجئ في الأمر أن جميع جوانب هذه الرؤية تقريبًا عن الإجواندون كانت خاطئةً أو مضلِّلةً على نحوٍ خطير.

برنيسارت: هل هي وادٍ نفَقَ فيه الإجواندون؟

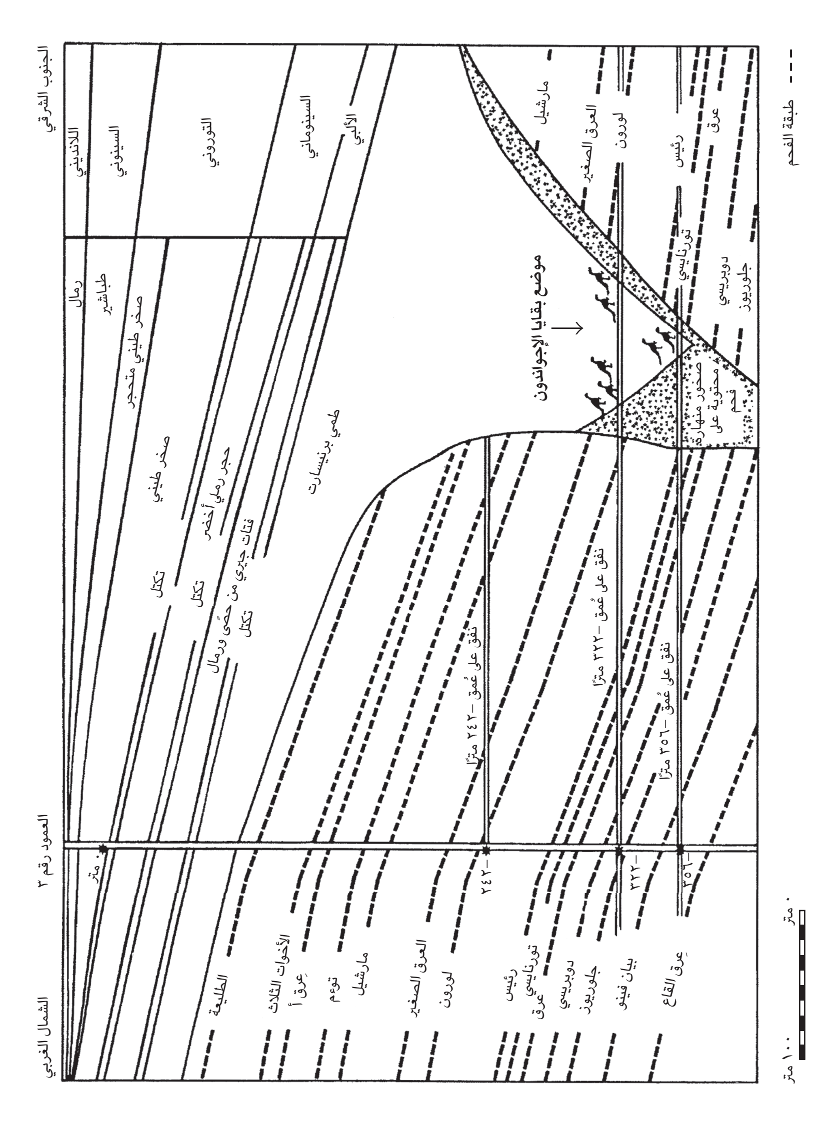
ركَّز بعضٌ من أوائل الأبحاث التي أُجرِيت في برنيسارت، على الظروف الاستثنائية التي حدث فيها الاكتشافُ الأصلي؛ فقد استُخرِجت الديناصورات من منجم للفحم على عُمقٍ يتراوح بين ٣٥٦ مترًا و٣٢٢ مترًا تحت سطح الأرض (الشكل ٣-١). لم يكن هذا متوقَّعًا؛

لأن طبقات الفحم التي حدث فيها التنقيب كان معروفًا انتماؤها لحقبة الحياة القديمة، وبالطبع لم يكن للديناصورات وجود في صخورٍ بمثل هذا القِدَم. مع هذا، فإن هياكل الإجواندون العظمية لم يُعثَر عليها في طبقات الفحم نفسها، لكن في تجويف من الصخر الطيني المنتمي للعصر الطباشيري، يمرُّ عبرَ الصخور الأقدم المحتوية على الفحم. كانت لعلماء جيولوجيا التعدين مصلحةٌ تجارية في معرفة حجم هذه الصخور الطينية، ومدى التأثير المحتمَل لها في استخراج الفحم؛ لذا بدءوا في رسم خريطة للمنطقة.

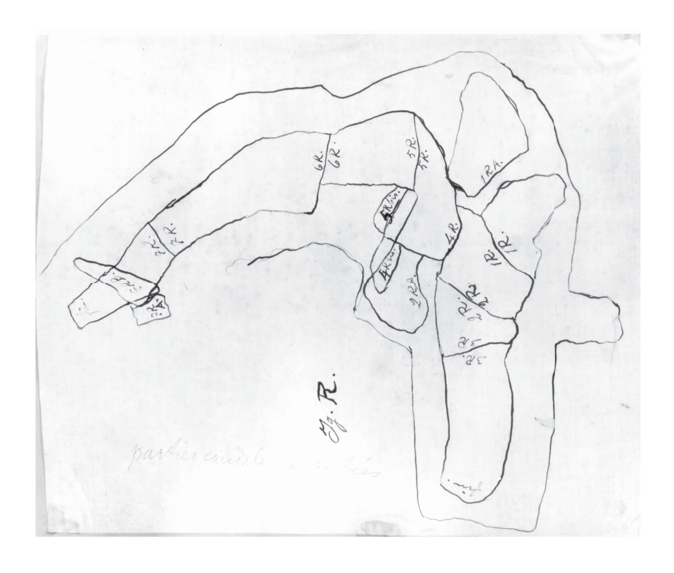
أشارت المقاطع العرْضية للمنجم، التي صُمِّمت خلال هذه الأبحاث الجيولوجية، إلى أن الطبقات الأفقية من صخور حقبة الحياة القديمة (بما تحتوي عليه من طبقات فحم قيِّمة)، كانت تتخلَّلها أحيانًا طبقاتٌ شديدةُ الانحدار من الصخر الطيني المنتمي لحقبة الحياة الوسطى (طين صفائحي ناعم). أعطتِ المقاطع العرْضية الانطباعَ الأول بوجود وديان شديدة الانحدار داخل الصخور القديمة، وشكَّلت أساسًا للفكرة التصويرية والجذَّابة إلى حدٍّ ما عن أن الديناصورات في برنيسارت كانت قطيعًا سقط ليلقى حتفه (الشكل ٣-١). كان دولو — الذي لم يكن جيولوجيًّا — يميل أكثر لفكرة أن هذه الديناصورات عاشت وماتت في وادٍ ضيق، إلا أن القصة المفاجئة كان وَقْعُها أكبر، وقد صارت أكثرَ إمتاعًا بإضافة اقتراحاتٍ إليها بأن هذه الديناصورات قد اندفعت فرارًا من ديناصورات مفترسة ضخمة (الميجالوصور)، أو بسبب أي حادث غريب آخَر مثل اندلاع حريق في الغابة. لم يكن هذا تفكيرًا مبنيًّا على التمنِّي؛ فقدِ اكتُشِفت أجزاءٌ قليلة للغاية من ديناصور مفترس ضخم داخل الطبقات المحتوية على بقايا الإجواندون؛ واستُخرِجت كتل من الفحم النباتي من بعض الرواسب التي تشبه حُطامًا صخريًّا، والتي عُثِر عليها في منطقة تقع بين الصخور المحتوية على الفحم وطبقات الصخر الطيني المحتوية على بقايا الديناصور.

شكَّلت الاكتشافات في برنيسارت تحدِّيًا منطقيًّا كبيرًا في سبعينيات القرن التاسع عشر وأوائل ثمانينيات القرن نفسه؛ فقد اكتُشِفت هياكل عظمية كاملة لديناصورات يبلغ طولها ١١ مترًا في قاع منجم عميق، وقد كانت محورَ اهتمام عالمي في هذا الوقت، لكن كيف كان السبيل إلى استخراجها ودراستها؟

نُظِّم مشروع تعاونيٌّ بين الحكومة البلجيكية — التي تموِّل علماء وفنيي المتحف الملكي للتاريخ الطبيعي في بروكسل — وعُمَّالِ المنجم والمهندسين في منجم الفحم في برنيسارت. عُرِضَ كلُّ هيكل عظمي بعناية وسُجِّل مكانُه في المنجم بطريقةٍ منظَّمة على



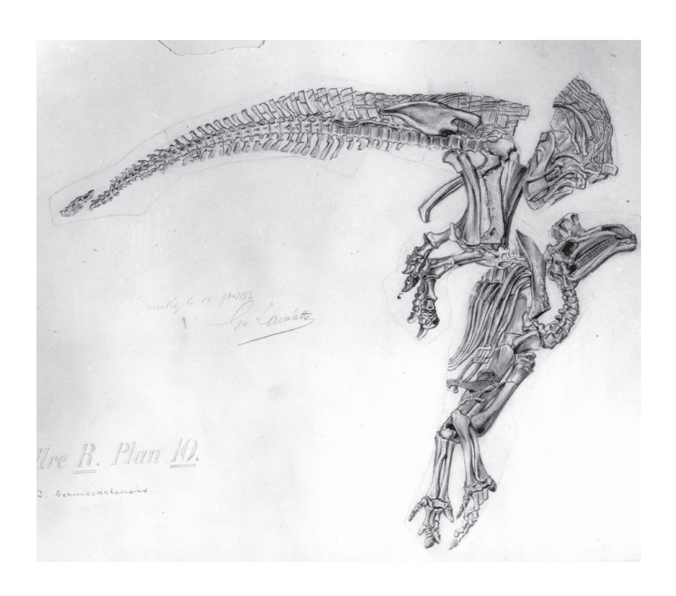
شكل ٣-١: مقطع جيولوجي لمنجم برنيسارت.



شكل ٣-٢: رسم تخطيطي لهيكل عظمي لديناصور إجواندون استُخرِج من برنيسارت.

خرائط مرسومة، وقُسِّم كلُّ هيكل عظمي إلى كتل يمكن التعامُل معها، يبلغ كلٌّ منها نحو متر مربع واحد. كذلك رُقِّمت بعنايةٍ كلُّ كتلة من هذه الكتل — المحمِيَّة بطبقة من الجص — وسُجِّلت على مخططات مرسومة (الشكل ٣-٢) قبل رفعها ونقلها إلى بروكسل.

في بروكسل، أُعِيد تجميع هذه الكتل بناءً على السجلات فيما يشبه بالأحرى أحجيةَ صور مقطوعة ضخمة. أُزيل الجصُّ بعنايةٍ فائقة لتظهر عظامُ كلِّ هيكل على حدة؛ في هذه المرحلة، رسمَ أحد الفنانين — وهو جوستاف لافاليت المبعوث خصِّيصَى من أجل هذا المشروع — الهيكلَ العظمي بالوضعية التي مات عليها قبل إجراء أي تجهيزات أخرى أو استخراج أي أجزاء أخرى (الشكل ٣-٣). استُخرِجت بعضُ الهياكل العظمية كاملةً من الصخر الطيني، ورُكِّبت معًا لتشكِّل معروضةً مذهلةً يمكن رؤيتها حتى يومنا هذا فيما يُسمَّى اليومَ المعهدَ الملكي للعلوم الطبيعية في بارك ليوبولد في بروكسل. وبعض الهياكل العظمية أُزِيل الصخرُ الطيني المحيط بها من جانب واحد فقط، ونُسِّقت في



شكل ٣-٣: رسم لافاليت لهيكل الإجواندون الموجود في الشكل ٣-٢.

الوضعية التي دُفِنت عليها فوق سقَّالات خشبية مدعومة من الجانبين بكتل ضخمة من الجص؛ تحاكي هذه المعروضةُ الأوضاعَ التي دُفِنت عليها الديناصورات عند اكتشافها لأول مرة في المنجم في برنيسارت.

حُفِظت الخرائطُ الأصلية لكل عملية تنقيب، وبعضُ المقاطع الجيولوجية الخام، ورسوماتٌ للاكتشافات؛ في أرشيفات المعهد الملكي في بروكسل. استُخرِجت هذه المعلومات هذه المرة من أجل الحصول على أدلة تتعلَّق بالطبيعة الجيولوجية لموقع دَفْن هذا النوع من الديناصورات.

كانت الطبيعةُ الجيولوجية لمنطقة تعدين الفحم مونس بازين — التي تقع فيها قريةُ برنيسارت — هي موضوعَ الدراسة قبل اكتشاف الديناصورات فيها؛ فقد أشار تقريرٌ مهم في عام ١٨٧٠ إلى أن الطبقات المحتوية على الفحم في مونس بازين كانت مليئةً بفتحات جوفية مكوَّنة طبيعيًّا، كانت كلُّ فتحة من هذه «الفتحات الجوفية» ذاتَ حجم محدَّد ومملوءةً بالصخر الطيني؛ فاستُنتِج أنها تكوَّنت عن طريق ذوبان صخور

حقبة الحياة القديمة الموجودة على عُمق كبير تحت سطح الأرض. تنهار أسقف هذه الكهوف على فترات منتظمة بفِعل الوزن الهائل للصخور العلوية؛ لذا امتلأت الفراغاتُ بما يوجد فوقها أيًّا كان، وهو في هذه الحالةِ الطمْيُ أو الصخور الطينية الناعمة. وُصِف انهيارُ مثلِ هذه الرواسب محليًّا في منطقة مونس بازين بأنه هزات مروعة بعض الشيء تشبه الزلزال، ومن قبيل المصادفة المذهلة، وقع «زلزال» صغير من هذا النوع أثناء التنقيب عن الديناصورات في أغسطس عام ١٨٧٨ في برنيسارت، وقد أُشير إلى حدوث انهيارات صغيرة في الأنفاق الباطنية، بالإضافة إلى فيضان، لكن سرعان ما تمكَّنَ عُمَّالُ المنجم والعلماءُ من استكمال عملهم بمجرد شفط مياه الفيضان.

على الرغم من كل المعرفة الجيولوجية المحلية، فإنه من المثير جدًّا للاهتمام أن علماء من المتحف في بروكسل فسَّروا خطأً الطبيعةَ الجيولوجية للفتحات الجوفية في برنيسارت؛ فقد قدَّم مهندسو التعدين مقاطعَ جيولوجية خامًا من الأنفاق التي خرجت منها الديناصورات، أظهرت هذه المقاطعُ وجودَ مقطع طوله ما بين ١٠ أمتار و١١ مترًا من البريشيا (طبقات متكسِّرة تحتوي على كتلٍ غير منتظمة من الحجر الجيري والفحم مخلوطةٍ بالطين والطمي، وهي «الصخور المنهارة المحتوية على الفحم» في الشكل ٣-١) خلف الطبقات المحتوية على الفحم مباشَرةً، وقبل الدخول إلى الصخور الطينية الشديدة الانحدار الأكثر انتظامًا في تراصُفها، التي استُخرِجت منها الحفرياتُ. بالقرب من منتصف هذه «الفتحات الجوفية»، كانت طبقاتُ الطمي متراصفةً أفقيًّا، وقربَ نهاية النفق من الجانب المقابل من «الفتحات الجوفية» تصبح الطبقاتُ شديدةَ الانحدار مجدَّدًا في الاتجاه المقابل قبل الدخول مرةً أخرى في منطقة البريشيا، وفي النهاية قبل الدخول مرةً أخرى إلى رواسب محمَّلة بالفحم. إن تماثُلَ الطبيعة الجيولوجية عبر «الفتحات الجوفية» هو المتوقَّع بالضبط في حال سقوط الرواسب العلوية في تجويف ضخم.

كذلك تتناقض الرواسب التي طُمِرت الديناصورات بداخلها مباشَرةً، مع تفسيرات وادي النهر الضيق؛ فالصخور الطينية الناعمة المتراصفة التي تحتوي على الحفريات ترسَّبَتْ بطبيعة الحال في بيئات منخفضة الطاقة ذات مياه ضحلة نسبيًّا، ربما مثل بحيرة كبيرة أو ضحلة. ببساطة، لا يوجد دليل على حدوث حالات وفاة كارثية إثرَ سقوط قطعان من الحيوانات في وادٍ ضيق؛ في الواقع، عُثِرَ على هياكل عظمية للديناصورات في طبقات منفصلة من الرواسب (مع أسماك وتماسيح وسلاحف وآلاف من آثار أوراق الأشجار، بل حتى أجزاء من حشرات نادرة)؛ مما يثبت أنها لم تَمُتْ جميعًا في نفس الوقت، ومن ثَمَّ لا يمكن أن تكون جزءًا من قطيع واحد من الحيوانات.

تشير دراسةُ اتجاهِ الهياكل العظمية المتحجرة داخل المنجم إلى أن جثث الديناصورات انجرفت إلى منطقة الدفن على فترات منفصلة ومن اتجاهات مختلفة؛ بَدَا الأمر كما لو أن اتجاه تدفُّق النهر الذي حمل جثثَ هذه الديناصورات قد تغيَّرَ من وقتٍ لآخَر، تمامًا كما يحدث في منظومات الأنهار الضخمة البطيئة الحركة في عصرنا الحالي.

لذا، منذ وقت مبكر يرجع إلى سبعينيات القرن التاسع عشر، كان مفهومًا بوضوح أن الديناصورات في برنيسارت لم تَمُتْ على الأرجح في «أودية ضيقة»، ولا في «أودية أنهار». من المذهل معرفة كيف أن الاكتشاف المثير للديناصورات في برنيسارت كان يتطلَّب فيما يبدو تفسيرًا مثيرًا بالمثل لطريقة وفاتها، وأن مثل هذه التخيُّلات قد قُبِلت دون نقْدِها، على الرغم من تناقضها مع الأدلة العلمية المتاحة في ذلك الوقت.

أصبحت صورة الإجواندون بوصفه كائنًا ضخمًا يشبه الكنغر أمرًا معروفًا جيدًا، بسبب التوزيع السخي لنماذج من هياكل عظمية بالحجم الكامل في العديد من المتاحف حول العالم. لكن هل تصمد عمليةُ الإحياء هذه أمام المزيد من عمليات الفحص الدقيق؟

«انحناءة» في الذيل

عند إعادة فحص أدلة الهياكل العظمية من المصادر الأولى، يكشف تشريحُ الهياكل العظمية من برنيسارت عن بعض السمات المحيِّرة. من أبرز مواضع الاهتمام في هذا التشريح الذيلُ الضخم للإجواندون؛ إذ تُظهِر الصورةُ المعروفة المعاد تكوينها هذا الحيوانَ (الشكل ١-٩) وهو مرتكزٌ — تمامًا مثل الكنغر — على ذيله وساقَيْه الخلفيتين مثل الحامل الثلاثيِّ القوائم؛ للوصول إلى هذه الوضعية، ينحني الذيلُ لأعلى نحو الورك. وعلى العكس تمامًا من هذا، تشير كلُّ الأدلة الوثائقية والحفرية إلى أن هذا الحيوان كان يحافظ عادةً على ذيله مستقيمًا في الأساس، أو منحنيًا نوعًا ما إلى الأسفل؛ يظهر هذا بوضوح في العينات المنسقة على كتلٍ من الجص في المتحف، وفي الرسومات الرائعة بقلم الرصاص للهياكل العظمية قبل عرضها (الشكل ٣-٣). يمكن القول بالطبع إن هذا الشكل هو ببساطة نتاجُ عمليةِ الحفظ، لكن هذا التفسير غير منطقي بالتأكيد في حالتنا هذه، فقد كان العمود الفقري في الواقع «مدعومًا» على أحد جانبَيْه بتكوين من الأوتار العظمية الطويلة يشبه العريشة؛ مما جعل العمودَ الفقري في وضعٍ مستقيم عن عَمْدٍ بدرجة كبيرة، ويمكن رؤيةُ هذا في الشكل ٣-٣. ونتيجةً لهذا، كان الذيل العضلي الثقيل

بمنزلة دعامة هائلة الحجم لمعادلة وزن الجزء الأمامي من الجسم في منطقة الأرداف. والحقيقة أن الانحناء العلوي للذيل الواضح في نماذج دولو، كان من المستحيل أن يكون له وجودٌ فعلي في حياة هذه الحيوانات؛ فقد أظهَرَ الفحص المتأنِّي للهيكل العظمي أن الذيل كان متقطِّعًا عن عَمْد في عدة أماكن لتحقيق هذا الانحناء العلوي؛ ربما في محاولةٍ من لويس دولو لجعل الهيكل العظمي يتلاءم مع أفكاره الشخصية في حماسةٍ زائدةٍ قليلًا.

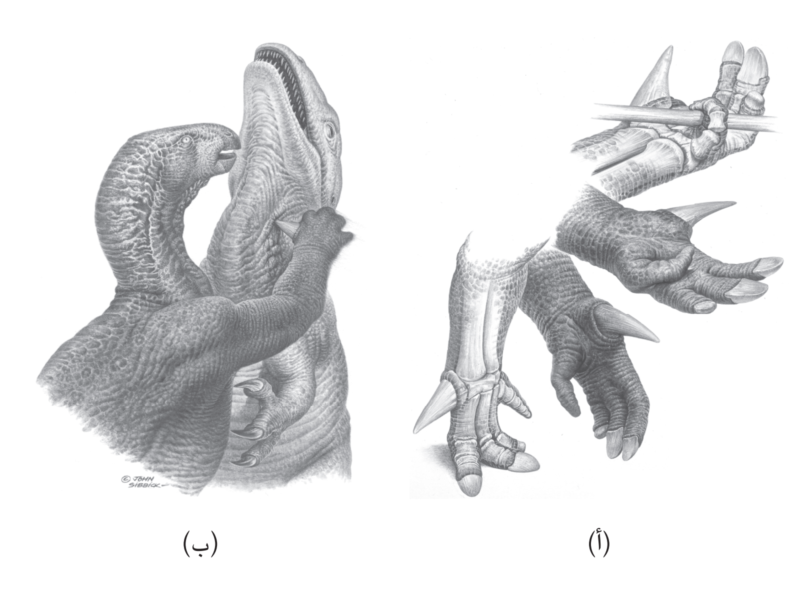
يُخِلُّ هذا الاكتشافُ بوضعية الجزء المتبقي من الهيكل العظمي؛ فإذا كان الذيل مستقيمًا بحيث يأخذ شكلًا «طبيعيًّا» أكثر، فسوف تتغيَّر إذن درجةُ ميلِ الجسم بالكامل، فيصبح العمود الفقري أفقيًّا أكثر، وأكثرَ توازُنًا عند الأرداف؛ ونتيجةً لهذا، يصبح الصدرُ أكثرَ انخفاضًا؛ مما يجعل الذراعين واليدين أقرب إلى الأرض، ويطرح تساؤلاتٍ عن وظيفتهما المحتمَلة.

هل هي أَيْدٍ أم أرجل؟

أصبحت يد الإجواندون جزءًا من القصص الفلكلور المتوارَثة عن الديناصورات؛ وذلك لسبب واضح، ففي البداية، اعتُبِرت شوكةُ الإبهام المخروطية قرنًا على أنف الإجواندون يشبه الموجود لدى وحيد القرن (الشكل ١-٦)، وخُلِّدت في النماذج الأسمنتية الضخمة التي شُيِّدت في القصر البلوري في لندن (الشكل ٢، المقدمة). وعندما قدَّمَ دولو أولَ نموذج مكتمِل لإعادة تجميع الإجواندون في عام ١٨٨٢، ثَبَتَ بما يريح الجميع أن هذه العظمة هي بالفعل جزء من يد الديناصور. إلا أن يد هذا الديناصور (وطرفَيْه الأماميَّيْن بأكملهما) كانت تحمل بعض المفاجآت الأخرى.

فالإبهام — أو الإصبع الأولى — كانت عبارة عن عظمة ضخمة ومخروطية وبها مخلب، تخرج بزاوية قائمة من بقية اليد، ولا يمكن تحريكها إلا على نحوٍ محدود للغاية (الشكل ٣-٤(أ)). أما الأصابع الثانية والثالثة والرابعة، فهي منسقة على نحو مختلف تمامًا؛ فتتشكَّل راحةُ اليد من ثلاث عظام طويلة (مشط اليد) متصلة معًا بإحكام بأربطة قوية، وتتصل الأصابع بنهايات عظام مشط اليد هذه بروابط مِفصلية، تتميَّز بكونها قصيرةً ومكتنزةً، وتوجد في نهايتها حوافر مسطحة وغير حادة. وعند فحص هذه العظام يدويًّا لمعرفة النطاق الحقيقي المحتمَل لحركتها، اكتُشِف أن الأصابع كانت تنبسط إلى الخارج (مبتعدًا بعضها عن بعض)، وبالتأكيد تعذَّرَ ثَنْيُها من أجل تكوين

قبضة وتأدية مهام بسيطة مثل الإمساك بالأشياء، كما كان متوقَّعًا. يبدو هذا التكوين المميَّز مشابِهًا للتكوين الموجود في «قدم» هذا الحيوان؛ فأصابع قدمه الثلاث الوسطى في كل قدمٍ، لها نفس الشكل ومتصلة معًا على النحو نفسه، من حيث انبساط بعضها بعيدًا عن بعض، ووجود حوافر مسطحة في طرفها. أما الإصبع الخامسة فتختلف عن الأصابع الأخرى كلها؛ فهي منفصلة إلى حدٍّ ما عن الأصابع الأربع السابقة، وترتبط باليد بزاوية متَّسِعة، وتتَّسم أيضًا بطولها واتساع نطاق حركتها في كل مفصل، وُيفتَرض أنها كانت مَرِنةً على نحو استثنائي.



(ب) (أ)

شكل ٣-٤: (أ) يد الإجواندون، تُظهِر عدَّة استخدامات، (ب) الإجواندون أثناء استخدام إبهامه التي تشبه الخنجر.

دفعَتْني إعادةُ الفحص هذه إلى مراجعة الأفكار الأولى على نحوٍ موسَّعٍ، واستنتاجِ أن يد هذا الديناصور من أغرب الأيدي التي ظهرت في المملكة الحيوانية بأكملها؛ فقد كانت الإبهام — بلا شكٍّ — سلاحًا مذهلًا للدفاع عن النفس يشبه الخنجر (الشكل ٣-٤(ب)).

أما الأصابع الثلاث الوسطى، فمن الواضح أنها كانت مهيَّأةً لتحمل الوزنَ (بدلًا من الإمساك بالأشياء كحال الأيدي الأخرى)، والإصبعُ الخامسة كانت طويلةً ومَرِنةً بما يكفي لتكون عضوًا (الْتِفَافيًّا) يُمسِك بالأشياء تمامًا مثل إصبع حقيقية (الشكل ٣-٤(أ)).

إنَّ فكرة أن اليد يمكن أن تُستخدَم في السير مثلها مثل القدم — أو على الأقل في حمل بعضٍ من وزن الجسم — كانت ثوريةً ومبتكرةً، لكن هل كانت صحيحة؟ حثَّ هذا على إجراء المزيد من الأبحاث على الذراع والكتف من أجل الحصول على أدلة إضافية قد تؤكِّد إعادةَ التفسير الجذرية هذه.

بدايةً، اتضح أن المعصم مثير للاهتمام؛ فعظام المعصم ملتحمة معًا لتكوِّن كتلةً عظمية، بدلًا من أن تكون صفًّا من العظام المستديرة الملساء التي يمكن أن تنزلق متخطِّيًا بعضها بعضًا، من أجل السماح لليد بالدوران قبالة الساعد. الْتَحمت كلُّ عظام المعصم الفردية معًا بأسمنت عظمي، وزاد من قوة ترابُطها معًا من الخارج وجودُ جدائل من الأربطة العظمية. من الواضح أن هذه السمات اجتمعت من أجل تثبيت المعصم بإحكامٍ في عظام اليد والساعد، ومن أجل مقاوَمةِ القوى الواقعة عليها في أثناء حمل الوزن، تمامًا كما يقتضي الأمر في حال كانت اليدان تُستخدَمان بالفعل مثل القدمين.

أما عظام الذراع المتبقية فبنيتُها قويةٌ للغاية؛ وذلك مرة أخرى لضمان صلابتها في أثناء تحمُّل الوزن، وليس من أجل السماح بالمرونة كما هو معتاد أكثر في الأذرع العادية. ولصلابة الساعِد آثارٌ مهمة في الطريقة التي ربما كانت اليد تُوضَع بها على الأرض — فربما كان اتجاهُ الأصابع إلى الخارج، واتجاهُ راحة اليد إلى الداخل — وهي نتيجة استثنائية لتحويل اليد إلى قدم. تأكَّدت وضعيةُ القدم — بهذه الطريقة الغريبة إلى حدٍّ ما — بفحص شكل آثارِ القدم الأمامية التي خلَّفَها هذا الديناصور.

كان الجزء العلوي من الذراع (عظم العضد) ضخمًا، يشبه العمود إلى حدٍّ ما، ويقدِّم دليلًا على أنه كان يدعم عضلات ذراع وكَتِفٍ ضخمة، كذلك كان هذا الجزء طويلًا على نحو فريد؛ حيث كان طوله يزيد عن ثلاثة أرباع طول الطرف الخلفي. لم يكن الحجم الحقيقي للذراعين واضحًا إلى حدٍّ ما في نماذج إعادة التجميع الأصلية للهيكل العظمي؛ حيث كانتَا مطويتَيْن فوق الصدر وظهرتَا دومًا أقصر مما هما عليه في حقيقة الأمر.

أخيرًا، كانت عظامُ الكتف كبيرةَ الحجم وقويةَ البنية، وهو أمر منطقي للغاية إذا كانت الذراعان تُستخدَمان كالأرجل. مع هذا، يُظهِر الكَتِفان سمةً أخرى غير متوقَّعة،

ففي منتصف صدر الهياكل العظمية الأكبر حجمًا التي عُثِر عليها في برنيسارت، توجد عظمةٌ غير منتظمة نَمَتْ في الأنسجة الرخوة التي تمر عبر منتصف الصدر بين مفاصل الكتف. إن هذه العظمة ذاتُ منشأ باثولوجي؛ إذ تكوَّنت استجابةً للجهد داخل الصدر الناتج عن سير الحيوان على أطرافه الأربعة (ويُطلَق عليها تحوُّلٌ عظمي داخل القص).



شكل ٣-٥: إعادة تكوين جديدة لشكل الإجواندون.

مع إعادة تقييم وقفة الإجواندون في ضوء هذه الملاحظات، يبدو واضحًا أن الوضع الأقرب إلى الطبيعي في حالة العمود الفقري كان أفقيًّا، وكان وزنُ الجسم موزَّعًا على طول العمود الفقري ومتوازنًا إلى حدٍّ كبير في منطقة الأرداف، وتدعمه رجلان خلفيتان ضخمتان وقويتان. ومن الواضح أن الأوتار المتحجِّرة الموزَّعة على طول العمود الفقري، وفوق الصدر والورك والذيل، كانت بمنزلة عوامل جذب لتوزيع وزن الجسم على طول العمود الفقري. سمحت هذه الوقفة للأطراف الأمامية بالوصول إلى الأرض، وكانت تُستخدَم لحمل وزن الجسم عندما يكون الحيوان واقفًا، وربما كان الإجواندون يتحرك ببطء على أطرافه الأربعة ولو في بعض الأحيان على الأقل (الشكل ٣-٥).

الحجم والجنس

تشتهر اكتشافات برنيسارت بأنها تتضمَّن نوعين من الإجواندون؛ أحدهما هو: «إجواندون برنيسارتنسيس»، الذي يعني حرفيًّا «الإجواندون الذي عاش في برنيسارت»، وهو نوعٌ ضخم وصلب البنية عُثِر له على أكثر من ٣٥ هيكلًا عظميًّا. والآخَر هو: «إجواندون أثرفيلد»، الذي أُطلِق عليه سابقًا اسم «إجواندون مانتيلي»، الذي يعني حرفيًّا «إجواندون مانتل»، وكان صغير الحجم وبنيته أضعف (كان طوله ٦ أمتار تقريبًا)، وعُثِر له على هيكلَيْن عظميَّيْن فقط.

اعتُبِر أن هذه العينات تخصُّ نوعين مختلفين، حتى أُعِيد تقييمُها في عشرينيات القرن العشرين على يد فرانسيس بارون نوبكسا، وهو أحد النبلاء من ترانسلفانيا، وكان عالِم حفريات؛ فقد دفعه اكتشافُ نوعين متشابهين لكثير من الديناصورات، من الواضح أنهما عاشَا في نفس المكان والزمان، إلى طرح سؤال بسيط لكنه بديهي: هل هما ذكر وأنثى للنوع نفسه؟ حاوَلَ نوبكسا تحديد الفروق الجنسية في عدد من الأنواع المتحجرة، وفي حالة الإجواندون المُكتشَف في برنيسارت، استنتج أن الديناصور الأصغر حجمًا والأكثر ندرةً كان هو الذكر، والديناصور الأكبر حجمًا والأكثر عددًا هو الأنثى؛ فقد لاحَظَ، على نحو منطقي تمامًا، أن إناث الزواحف عادةً ما تكون أكبر حجمًا من الذكور، والسبب الحيوي في هذا أن الإناث عادةً ما تحتاج إلى إنماء أعداد كبيرة من البيض السميك القشرة داخلها، ويستنزف هذا البيضُ كثيرًا من موارد الجسم قبل وضعه.

في حين بَدَا هذا الاقتراح منطقيًّا إلى حدٍّ كبير، فمن الصعب جدًّا في حقيقة الأمر إثباته من الناحية العلمية. وبعيدًا عن الحجم — الذي يتفاوت إلى حدٍّ مذهل بين الزواحف ككلٍّ وليس كسمة متسقة كما أرادنا نوبكسا أن نعتقد — فإن السمات التي يُستدَل بها في التمييز بين الجنسين في الزواحف الحية، موجودةٌ على نحوٍ أكثر شيوعًا في تشريح الأعضاء التناسلية الرخوة نفسها، أو لون الجلد، أو السلوك. وهذا على وجه الخصوص أمر مؤسف؛ لأن من النادر للغاية أن تحتفظ الحفرياتُ بمثل هذه السمات.

سيكون أهم دليل هو العثور على حفريات رخوة تشريحيًّا لأعضاء الإجواندون التناسلية، لكن للأسف هذا أمر بعيد الاحتمال للغاية. وبما أننا لا نستطيع أبدًا معرفةَ التكوين الحيوي لهذه الكائنات وسلوكها، فلا بد أن نكون حَذِرين بعضَ الشيء وواقعيِّين أيضًا، ومن الأسلم في الوقت الحالي أن نسجِّل الاختلافات (وربما تكون لدينا شكوكنا)، لكن لِندَعِ الأمر يتوقَّف ببساطة عند هذا الحد.

كشفت دراسةٌ متأنِّية للإجواندون الضخم الأكثر وفرةً من برنيسارت، أن بعض هذه الديناصورات كان أصغر من المعتاد؛ حيث أظهر قياس أبعاد كل هيكل عظمي من هذه الهياكل تغيُّرًا غير متوقَّع في النمو؛ فالعينات الأصغر حجمًا — التي يُفترَض أنها غير بالغة — كانت أذرعها أقصر من المتوقَّع. ربما كانتِ الديناصورات الأصغر سنًّا نسبيًّا قصيرةَ الأذرع وماهرةً في الركض على رِجلين، لكن مع وصولها إلى الحجم الضخم والطول الهائل للديناصورات البالغة، أصبحت بالتدريج أكثرَ اعتيادًا على التحرُّك على قوائمها الأربعة. يتلاءم هذا أيضًا مع ملاحظة وجود التحوُّل العظمي داخل القص، لدى الديناصورات الأكبر حجمًا فقط، المفترض أنها بالغة، التي قضَتْ وقتًا أكبر في السير على قوائمها الأربع مقارَنةً بالديناصورات الشابَّة الأصغر حجمًا.

الأنسجة الرخوة

من النادر للغاية الاحتفاظ بالأنسجة الرخوة للكائنات المتحجرة، ولا يحدث هذا إلا في ظلِّ ظروف حفظٍ استثنائية؛ لذا طوَّرَ علماء الحفريات أساليبَ لفكِّ شفرة الأدلة المتعلقة بهذا النوع من التكوين الحيوي للديناصورات، بطريقة مباشِرة وغير مباشِرة على حدٍّ سواء.

أعلن لويس دولو عن وجود قِطَع صغيرة من آثار الجلد على أجزاء من الهياكل العظمية للإجواندون، وقد عُرِض عددٌ من الهياكل المُكتشَفة في برنيسارت في «وضعية الوفاة» مع انقباض عضلات الرقبة القوية، في أثناء «التيبُّس الموتي»؛ وهو الانحناء الشديد للرقبة واتجاه الرأس إلى الأعلى وإلى الخلف. ويشير الاحتفاظ بهذه الوضعية طوال الفترة بين الوفاة وعملية الدفن النهائية إلى تصلُّب جثة الحيوان وجفافها. وفي ظل هذه الظروف، فإن جلد هذه الحيوانات القاسي الملمس، الرقيق السُّمْك، قد كوَّنَ سطحًا صلبًا شكَّلت عليه حبيباتُ الطمي الناعمة قالبًا في أثناء عملية الدفن، وإذا ضُغِطت رواسبُ الدفن بما يكفي لتحتفظ بشكلها، قبلَ التعفُّن الحتمي لأنسجة الديناصور العضوية واختفائها، فإن آثار ملمس سطح الجلد ستظلُّ باقيةً في الرواسب (تمامًا كما يحدث في قوالب الطمي البسيطة).

تأكَّدت تلك التوقُّعات في حالة الإجواندون من خلال ملمس آثار الجلد المحفوظة؛ فقد أظهرت غطاءً مَرِنًا من الحراشف الصغيرة، التي تشبه تمامًا في شكلها الحراشفَ

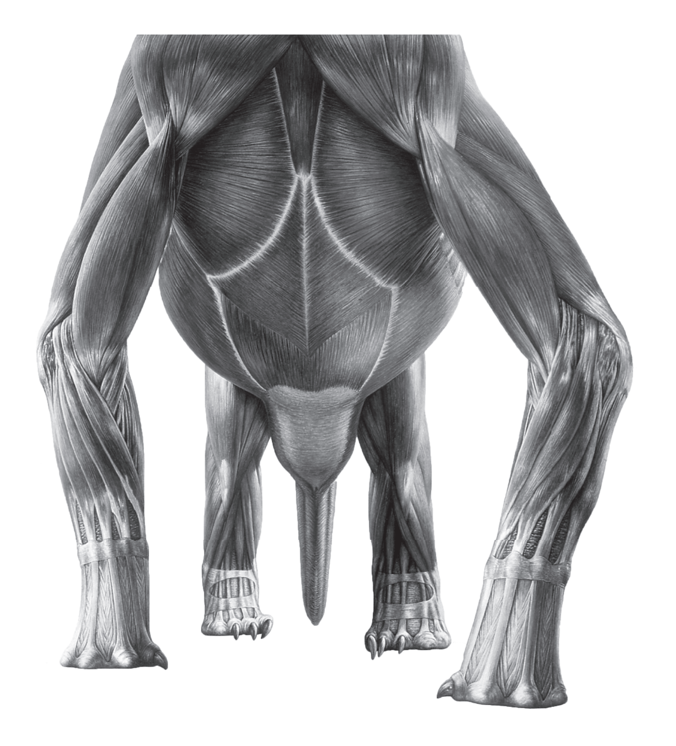
الموجودة على جلد السحالي في العصر الحديث (الشكل ٣-٦). ومن الواضح أن اختفاء النسيج الأصلي يعني اختفاءَ أي آثار لصبغات الجلد منذ وقت طويل.



شكل ٣-٦: أثر لجلد الإجواندون.

بالإضافة إلى الخطوات المفصَّلة التي لا بد من إجرائها لوصف عظام الهيكل العظمي للديناصور فحسب، من المحتمَل أيضًا التركيز على أجزاء معينة من الجسم، خاصةً الوركين والكتفين والرأس، من أجل العثور على أدلة تتعلَّق بترتيب عضلاته؛ والسبب في هذا أنه في أماكنِ التصاقِ العضلات والأوتار بسطح العظام، تتكوَّن عادةً علاماتٌ دالة على السطح، مثل حوافَّ عظمية مرتفعة أو ندبات عضلية مجوَّفة. من المذهل أن عظام الهيكل مادة لدنة؛ فلا بد أن يتغيَّر شكلُ العظام مع نمو الجسم، أو إذا كان لا بد من إصلاح العظام لنفسها عقب إصابتها بأذًى، كالتعرُّض لكسر مثلًا. وقد يكون الأمر الأقل وضوحًا هو أنه عندما يكتمل نموُّ الجسم تستمر عظامه في تغيير شكلها استجابةً لأنماط الضغط والجهد الدائمة التغيُّر؛ فعلى سبيل المثال: تترسب لدى الإنسان الذي يتدرَّب على حمل الأثقال عظامٌ هيكلية إضافية لتواكِبَ الحملَ الزائد، خاصةً إذا استمرَّ هذا النظامُ التدريبي لوقت طويل.

في أماكن معينة في الجسم — حيث تمارِس العضلاتُ ضغطًا على الهيكل العظمي — تكون الندبات على العظام مميزةً إلى حدٍّ كبير، حتى في الحفريات؛ ويكوِّن هذا خريطة واضحة تسمح بإعادة بناء الجهاز العضلي الأصلي (الشكل ٣-٧). تعتمد عمليات إعادة



شكل ٣-٧: إعادة بناء شكل عضلات الديناصور.

البناء هذه على ترتيبات عضلية معروفة شُوهِدت في حيوانات حية ذات صلة، وتُعدَّل وفقًا لتفهُّم الاختلافات التشريحية أو الحقائق الجديدة التي ظهرت في حفريات الحيوانات المدروسة.

أحد الأساليب المستخدمة في محاولة فهم الجهاز العضلي للإجواندون — على الرغم من عدم اتِّصافه بالمثالية من الناحية العلمية — تمثَّلَ في استخدام المعلومات المتعلِّقة بنوعين من أقرب الأنواع الحية صلةً بالديناصورات، هما: الطيور والتماسيح. من الواضح أن هذين النوعين من الحيوانات لا يعبِّران بدقةٍ على الإطلاق عن تشريح الإجواندون؛ فالطيور معدَّلةٌ إلى حدٍّ كبير للطيران، وليست لديها أسنانٌ، وذيلها صغير، وتتمتَّع بعضلات معدَّلة على نحوٍ فريدٍ في منطقة الأرداف وفي الأرجل. أما التماسيح، على الرغم

من أنها أقرب إلى شكل الزواحف التقليدي، فإنها حيوانات مائية مفترسة متخصِّصة إلى حدٍّ بعيد. وعلى الرغم من هذه المشكلات الحقيقية، فإن كلا النوعين يقدِّم إطارَ عملٍ أو نموذجًا عامًّا — يُعرَف باسم «تطوُّر السلالات بمقارَنة المنقرِض بالحالي» — لتقديم نموذج أُعِيد بناؤه يمكن استكماله بتفاصيل أفضل عن تشريح الإجواندون.

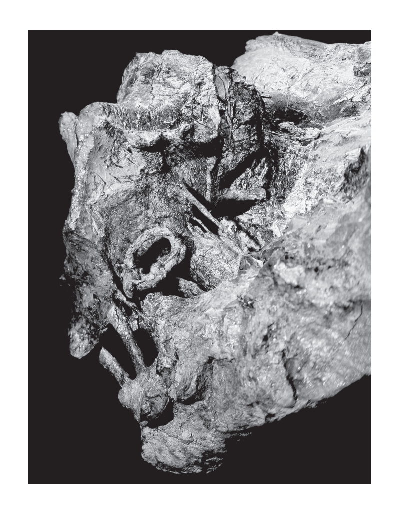
تحتوي إعادة البناء الأخيرة هذه على أدلة عامة من التكوين الجسماني الإجمالي (شكل العظام وتنسيقها) للهيكل العظمي أو الجمجمة، وتأثير هذه الأمور على توزيع العضلات ووظيفتها. لا بد أن تفسِّر أيضًا هذه النماذجُ المعاد بناؤها عواملَ مثل الطريقة المقترحة للحركة؛ على سبيل المثال: تفاصيل المفاصل الموجودة بين عظام الأطراف، وتقييم الآليات البسيطة المرتبطة بوضع الأطراف ونطاق حركتها المتاح في كل مفصل طرفي، وفي بعض الحالات الأدلة الفعلية التي تتركها الديناصورات في شكل آثار متحجِّرة تشير إلى الطريقة التي كانت تتحرَّك بها فعليًّا عندما كانت على قيد الحياة.

تطوُّر السلالات بمقارنة المنقرِض بالحالي

عن طريق إنشاء شجرة لتطوُّر السلالات عن أقرب الأنواع صلةً بالديناصورات، اتضح أن التماسيح تطوَّرَتْ «قبل» ظهور الديناصورات، وأن الطيور تطوَّرت «عقب» ظهور أول الديناصورات؛ ومن ثمَّ، تقع الديناصورات من الناحية التطورية بين التماسيح والطيور الموجودة على قيد الحياة.

من المفترض أيضًا وجود الصفات التشريحية المشتركة بين الطيور والتماسيح الموجودة حاليًّا لدى الديناصورات؛ لأن الديناصورات تقع حرفيًّا بين هذين النوعين. أحيانًا يساعد هذا الأسلوب في استنتاج الصفات الحيوية لدى مجموعات منقرضة، حتى عندما لا توجد أدلة جسمانية على مثل هذه الصفات. لكن، في ظل الخصوصية الشديدة لبعض الكائنات مثل الديناصورات، لا بد من استخدام هذا الأسلوب بحذرٍ عند مقارنتها بالتماسيح والطيور التي تعيش حاليًّا.

في أثناء فَحْصِي كثيرًا من أجزاء عظام الإجواندون الموجودة في مجموعات متحف التاريخ الطبيعي في لندن، لفتَتِ انتباهي عينةٌ غريبة، كانت مكوَّنةً من البقايا المهشَّمة لجزءٍ من جمجمة ضخمة، واتضح من وجود عدد قليل من الأسنان في فكها العلوي، أنها تنتمي بالفعل للإجواندون، لكنها بَدَتْ بخلاف هذا غيرَ مفيدة تشريحيًّا. وبدافع الفضول فقط قرَّرْتُ قطْعَ العينة إلى نصفين لرؤية إن كان تكوينها الحيوي الداخلي محفوظًا على نحوٍ أفضل أم لا، واتضح أن ما وجدْتُه كان ممتعًا ومثيرًا على نحوٍ غير متوقَّع؛ فعلى





شكل ٣-٨: (جهة اليسار): صورة مائلة للقالب الطبيعي المصنوع من تجويف مخ الإجواندون. (جهة اليمين): رسم تخطيطي لتجويف المخ يوضِّح تكوينَ الأذن، والأعصاب، والأوعية الدموية، وفصوص الشم.

الرغم من أن العظام كانت مهشَّمةً ومتآكِلةً، فقد كان واضحًا أن هذه الجمجمة دُفِنت في طمي غريني رخْوٍ تسرَّبَ داخل كل الفراغات. تصلَّبَ الطمي وتحجَّر على مدار ملايين السنين، فأصبح قوامُه يشبه الأسمنت، وكانت عملية التحجُّر هذه مكتمِلةً تمامًا حتى أصبح من غير الممكن نفاذُ الماء إلى الصخر الطيني، ومن ثَمَّ لم تستطع المياهُ الجوفية المحتوية على المعادن التسرُّبَ عبر هذا الصخر بحيث تتشبَّع عظامُ الجمجمة بالمعادن، ونتيجةً لهذا كانت العظامُ ليِّنةً نسبيًّا وسهلةَ التفتُّت.

قدَّمَ هذا النوع الخاص من الحفظ فرصةً استثنائية لفحص التكوين الداخلي للجمجمة، وكشفَتِ الإزالةُ المتأنِّية لعظام الجمجمة الهشَّة (بدلًا من إزالة قالب صلب من الصخر الطيني) عن أن شكل الفراغات الداخلية في الجمجمة كان بمنزلة قالب طبيعي من الصخر الطيني (الشكل ٣-٨). اشتملَتِ الجمجمة على التجويف الذي احتوى على المخ، وممرات الأذن الداخلية، وكثير من الأوعية الدموية ومسالك الأعصاب التي كانت توصِّل من تجويف المخ وإليه. وبالنظر إلى حقيقة أن هذا الحيوان قد مات منذ ما يقرب

من ١٣٠ مليون سنة، يبدو من الرائع أننا تمكَّنا من إعادة تجميع هذا القدر الكبير من تكوينه الداخلي الرخو.

الإجواندون والتكيُّف الغذائي

إنَّ أولى حفريات الإجواندون التي أمكن التعرُّف عليها هي أسنانه، التي أظهرت سماتها الدالة أنه كان حيوانًا يقتات على الأعشاب؛ فقد كانت على شكل الإزميل لتمكِّن الحيوان من تقطيع النباتات وطحنها في فمه قبل بلعها.

تشير الحاجة لتقطيع النباتات وطحنها إلى بعض الاعتبارات المهمة بشأن النظم الغذائية للكائنات المنقرِضة، وبعض الأدلة التي قد تحتوي عليها هياكلُها العظمية.

دماغ الإجواندون

يشير تكوين تجويف الدماغ إلى وجود فصوص شمٍّ ضخمة في الجبهة؛ مما ينمُّ على تمتُّع الإجواندون بحاسة شمٍّ متطورة. كانت الأعصاب البصرية الضخمة تمرُّ عبر قحف الدماغ في اتجاه التجويفات الكبيرة للعينين، وهو ما يؤكِّد بوضوح أن هذه الحيوانات كانت تتمتَّع برؤية جيدة. وتشير الفصوص الدماغية الكبيرة إلى أن الإجواندون كان حيوانًا نَشِطًا ومنسَّقَ الحركة. يُظهِر الشكل الداخلي للأذن القنواتِ الحلقيةَ نصف الدائرية التي مَنحت هذا الحيوان شعورًا بالاتزان، وتكوينًا يشبه الإصبع كان جزءًا من الجهاز السمعي. يتدلى أسفل تجويف الدماغ تكوينٌ يشبه القرنَ يحتوي على الغدة النخامية المسئولة عن تنظيم عمل الهرمونات. وفي أسفل جانبَيِ الشكل الداخلي للأذن تُرَى سلسلة من الأنابيب الضخمة، التي تمثِّل الممرات المارة عبر الجدار الأصلي للقحف الدماغي (الذي أُزِيل هنا بالطبع) لأعصاب الجمجمة الاثني عشر. حُفِظت كذلك أنابيبُ وقنواتٌ تمر عبر جدار الجمجمة، وتشير هذه الأنابيب والقنوات إلى توزيع مجموعة من الأوعية الدموية التي كانت تحمل الدم إلى قاع الدماغ من الدم (عبر الشريان السباتي)، وبالطبع تنقل الدمَ من الدماغ عبر الأوردة الضخمة على جانبَيِ الرأس التي تعيد الدمَ إلى أسفل باتجاه الرقبة.

يتكوَّن النظام الغذائي لآكلات اللحوم من اللحم في المقام الأول. ومن المنظور الكيميائي الحيوي والغذائي، فإن النظام الغذائي القائم على اللحوم هو أحد أبسط وأوضح الخيارات لأيِّ كائن؛ فمعظم الكائنات الأخرى الموجودة في العالم مكوَّنة إلى حدٍّ ما من العناصر الكيميائية نفسها التي تتكون منها الكائنات اللاحِمة؛ ومن ثَمَّ، فإن لحمها يمثِّل مصدرًا جاهزًا للطعام السريع الامتصاص — شريطة التمكُّن من الإمساك

بالفريسة — يمكن تقطيعه داخل الفم باستخدام أسنان بسيطة التكوين تشبه السكاكين (أو حتى بلعه كاملًا)، ثم هضمه سريعًا داخل المعدة. وقد تكون هذه العملية بأكملها سريعة نسبيًّا وفعَّالة للغاية من الناحية الحيوية؛ نظرًا لأن كم الإهدار المحتمَل قليل.

تواجِه آكلات العشب مشكلةً أكثر صعوبة إلى حدٍّ ما، فالنباتات ليست مغذِّية بدرجة كبيرة ولا يسهل امتصاصها مقارَنةً بلحم الحيوانات؛ إذ تتكوَّن النباتات في الأساس من كميات كبيرة من السليولوز، وهي مادة تعطيها القوةَ والصلابةَ. والسمة الأساسية في هذه المادة الفريدة (والغريبة للغاية) ذات الأهمية البالغة للحيوانات، هي أنها «غير قابلة للهضم بالكامل»؛ فببساطة لا توجد مادة كيميائية في الترسانة الموجودة في أمعائنا قادرة فعليًّا على إذابة مادة السليولوز؛ ونتيجةً لهذا، يمر مقدار السليولوز الموجود في النباتات مباشَرةً عبر أمعاء الحيوانات فيما نطلق عليه اسم ألياف الطعام. كيف إذن تعيش آكلات العشب على مثل هذا النظام الغذائي الذي يبدو غير واعد؟

تكيَّفت الأنواعُ آكِلة النباتات بنجاح مع هذا النظام الغذائي؛ نظرًا لتمتُّعها بعدد من السمات المميزة، فلديها أسنان سطحها متين وقوي ومعقَّد وخشن، وفكَّان قويان، وعضلات يمكن استخدامها في طحن أنسجة النبات بين الأسنان من أجل إخراج «العصارة الخلوية» الصالحة للاستخدام من الناحية الغذائية، والمحبوسة داخل جدران خلايا النبات. تتناول آكلات العشب كمياتٍ ضخمة من الأطعمة النباتية؛ حتى يتسنَّى لها استخراج عناصر غذائية كافية من هذه المادة التي تفتقر إلى حدٍّ ما إلى العناصر الغذائية؛ ونتيجةً لهذا، فإن أجسام آكلات العشب تميل إلى الشكل الأسطواني، الذي يتناسب مع أمعائها الضخمة والمعقدة، الضرورية لتخزين الكميات الضخمة من النباتات، التي لا بد لها من تناوُلها وإعطاء الوقت الكافي لحدوث عملية الهضم. تحتوي الأمعاء الضخمة لآكلات العشب على أعداد هائلة من الجراثيم التي تعيش داخل أكياس أو تجويفات خاصة داخل جدار الأمعاء. الزائدة الدودية لدينا هي عضو غير وظيفي صغير من أحد هذه التجويفات، وتشير إلى الحياة العشبية لأسلافنا من الرئيسات. يسمح هذا النوع من التكافُل للحيوانات آكلة العشب بتوفير بيئة دافئة وآمنة للجراثيم، وإمداد مستمر بالطعام، وفي المقابل تتمتع هذه الجراثيم بالقدرة على تصنيع السيلولاز؛ وهو إنزيم يهضم السليولوز ويحوِّله إلى سكريات يمكن للعائل الحيواني امتصاصها بعد ذلك.

كان الإجواندون حيوانًا آكلًا للعشب ضخمًا بكل المقاييس (إذ يبلغ طوله ١١ مترًا ويتراوح وزنه بين ٣ و٤ أطنان تقريبًا)، وكان يتناول نباتات بكمياتٍ ضخمة؛ وبناءً على

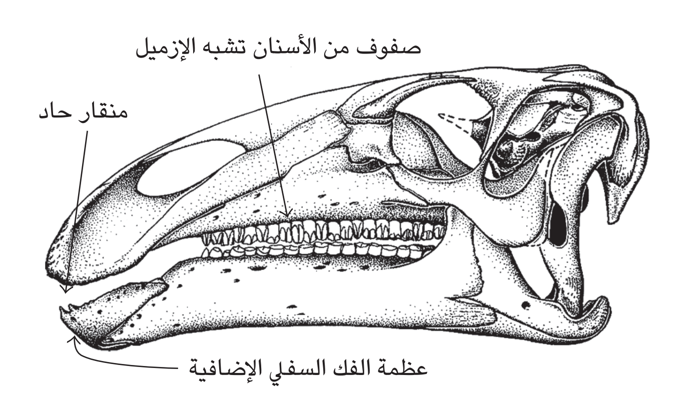
هذه المعلومات، يمكن استعراضُ بعض الأسئلة المتعلقة بالطريقة التي كان الإجواندون يتناول بها طعامه ويمتصه بالتفصيل.

اقترحت إحدى النظريات المطروحة بشكل دائم بشأن طريقة تناول الإجواندون للطعام؛ أنه كان يستخدم لسانَه الطويل في جذب النباتات إلى داخل فمه. بدأت هذه النظرية مع جيديون مانتل، الذي قدَّمَ وصفًا لأول فكٍّ سفلي مكتمِل تقريبًا للإجواندون. اشتملت الحفرية الجديدة على بعض الأسنان الدالة؛ لذا لم يكن ثمة شكٌّ في نسبة تلك الحفرية إلى الإجواندون، وكان الجزء الأمامي من الحفرية خاليًا من الأسنان وعلى شكل مزراب. توقَّعَ مانتل أن الجزء الذي يشبه المزراب يسمح لِلِّسان بالانزلاق خارج الفم وإلى داخله، تقريبًا مثلما تفعل الزرافة. لم يستطع مانتل معرفة أن طرف الفك السفلي المُكتشَف حديثًا كان غير مكتمِل، وأنه كان مغطًّى بعظمة إضافية كانت تملأ مساحة «المزراب».

تجدر الإشارة إلى أنه في عشرينيات القرن العشرين قدَّم لويس دولو المزيدَ من الأدلة المؤيِّدة لتخمين مانتل. قدَّم دولو وصفًا لفتحة مميزة في العظمة الإضافية الموجودة على طرف الفك السفلي؛ حيث شكَّلَتْ هذه الفتحة نفقًا يمر مباشَرةً عبر العظمة الإضافية ممَّا سمح لِلِّسان الطويل الرفيع والمليء بالعضلات بالخروج من الفم، والإمساك بالنباتات وسحبها إلى داخل الفم. كما اقتُرِح أن العظام الضخمة (عظام قرنية خيشومية) التي عُثِر عليها بين فكَّيِ الإجواندون، تعمل كوسيلةِ ربط بين العضلات التي تتحكَّم في حركة هذا اللسان. تناسب هذا التكوين بدقةٍ مع فكرة دولو عن الإجواندون بوصفه حيوانًا يرعى أوراقَ الأشجار المرتفعة، يتميَّز بلسان طويل مثل لسان الزرافة تمامًا يستخدمه للإمساك بالأشياء.

إن إعادة الفحص المتأنِّية للفك السفلي في عددٍ من جماجم الإجواندون المُكتشَفة في برنيسارت، قد فشلت في إظهار نفق العظمة الإضافية الذي أشار إليه دولو. كانت للعظمة الإضافية حافة عليا حادة تدعم منقارًا قَرْنيَّ الشكل يشبه منقارَ السلحفاة. تطبق العظمة الإضافية ومنقارها على عظم قواطع خالٍ من الأسنان، يغطِّيه منقار يوجد في طرف الفك العلوي، وقد سمح هذا التكوين للديناصورات بقطع النباتات التي كانت تتغذَّى عليها بكفاءة كبيرة. تمثَّلت فائدة المنقار القرْني في أنه كان ينمو باستمرار (على عكس الأسنان التي كانت تتآكل بالتدريج)، بصرف النظر عن مدى صلابة النباتات التي تُقطَّع وخشونتها. ما زالت العظامُ الخيشومية تحتاج إلى بعض التفسير، وفي هذه

الحالة، ربما كانت تُستخدَم في تثبيت العضلات المُحرِّكة لِلِّسان في جميع أنحاء الفم، من أجل تغيير موضع الطعام في أثناء مضغه، ومن أجل دفعه إلى الخلف نحو الحلق عندما يكون جاهزًا للبلع؛ وهذا يشبه بالضبط الدورَ الذي تؤدِّيه العظامُ القرنية الخيشومية في قاع الفم لدى الإنسان.



شكل ٣-٩: جمجمة الإجواندون.

طريقة مضغ الإجواندون لطعامه

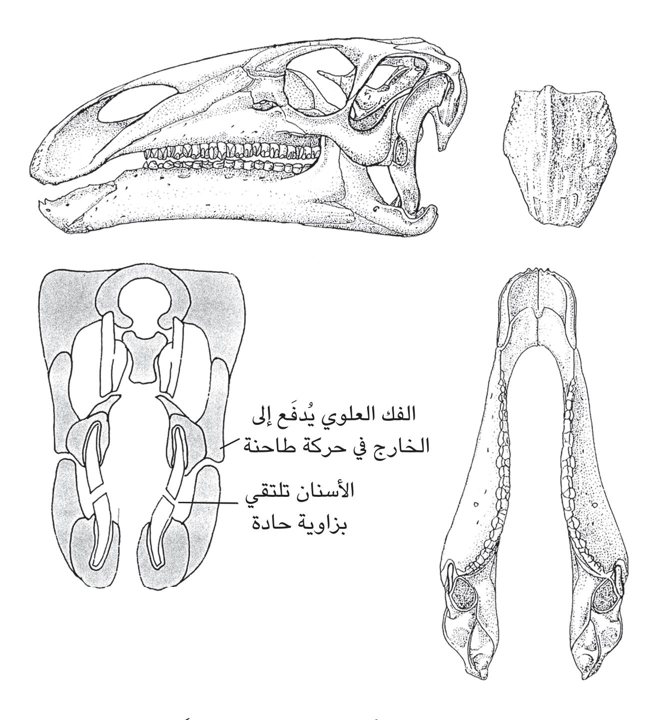
بعيدًا عن المنقار القَرْني الذي أتاح للإجواندون قطع النباتات في الطرف الأمامي من الفم، كان على جانبَيِ الفك صفَّان هائلان متوازيان تقريبًا من الأسنان التي تشبه الإزميل، والتي شكَّلت شفراتٍ غير منتظمة الحواف (الشكل ٣-٩). تقع كلُّ سِنٍّ عاملة بجوار الأخرى في ترتيب متراصف، وتوجد أسفل الأسنان العاملة تيجانٌ بديلة من الأسنان لتحلَّ محل الأسنان العاملة عند تآكُلِها، فتشكِّل بذلك «مستودعًا» أو مخزونًا من الأسنان. إن نمطَ الاستبدال هذا معتادٌ لدى الزواحف بوجهٍ عام، لكنَّ الأمرَ غيرَ المعتاد — حتى بمعايير الزواحف — أن تتَّحِدَ الأسنانُ العاملة والأسنان البديلة معًا في مجموعة دائمة النمو، كما لو أنها تسهم معًا في بناء سِنٍّ عملاقة تشبه الرَّحى. ويحافظ التآكل الذي

يحدث بين الأسنان المتقابلة (العليا والسفلى) على منح الديناصور سطحًا طاحنًا طوال حياته؛ فبدلًا من أن تكون لديه أسنان طاحنة دائمة وصلبة (كالحال لدى البشر)، يمكن وصف ما لديه على أنه نموذجٌ وحيدُ الاستعمالِ يعتمد على الاستبدال الدائم للأسنان الفردية الأبسط.

تتميَّز الحوافُّ المتقابلة لكل نصلٍ قاطعٍ للأسنان بصفات تضمن كفاءتها في عملية القطع؛ فالأسطح الداخلية للأسنان السفلى مغطَّاة بطبقة سميكة من المينا الشديدة الصلابة، في حين أن الجزء المتبقي من السِّنِّ مصنوع من عاجٍ أكثر ليونةً يشبه العظام. وفي المقابل، يكون الترتيب معكوسًا في الأسنان العليا؛ فتغطِّي الحافة الخارجية طبقة سميكة من المينا، في حين يتكوَّن الجزء المتبقي من السِّنِّ من العاج. عند غلق الفك، ينزلق بعض هذه الشفرات المتقابلة فوق بعضٍ؛ فتقابل الحافةُ الأمامية الصلبة المطلية بالمينا لأسنان الفك السفلي الحافةَ القاطعةَ المطليةَ بالمينا للأسنان العليا، لإجراء عملية قطع/تمزيق تشبه إلى حدٍّ ما شفراتِ المقص (الشكل ٣-١٠). وبمجرد أن تتخطَّى الحوافُّ المطلية بالمينا بعضها بعضًا، تقطِّع حوافُّ المينا (على عكس شفرات المقص) الأشياءَ بمساعدة أجزاء العاج الأقل مقاوَمةً في الأسنان المقابلة في عملية تقطيع وطحن، وهو أمر مثالي لطحن الألياف الصلبة للنباتات.

إنَّ شكلَ الأسطح الطاحنة الذي عليه «مخزون» الأسنان البديلة العلوية والسفلية مثيرٌ حقًّا للاهتمام؛ فالأسطح البالية تكون مائلةً؛ إذ تتجه الأسطحُ السفلية إلى الخارج ولأعلى، بينما تتجه الأسطح البالية في الأسنان العليا إلى الداخل ولأسفل. هذا النمط له تبعات مهمة، ففي حالة الزواحف التقليدية يُغلَق الفكُّ السفلي كما لو أن به مِفْصَلة؛ حيث يُغلَق الفكَّان على جانبَيِ الفم في نفس الوقت فيما يُعرَف باسم «الإطباق المتزامن». لو افترضنا أن هذا النوع من الإطباق صحيح في حالة الإجواندون، فإنه يتَّضح على الفور أن مجموعتَيِ الأسنان على جانبَي الفم كانتَا ستصبحان في تداخُل معًا طوال الوقت؛ فينحشر الفك السفلي داخل الأسنان العليا. يعني هذا أنه من المستحيل أن نتخيَّل كيف ظهرَتِ الأسطحُ البالية المائلة في المقام الأول.

حتى تظهر الأسطح البالية المائلة، لا بد أن تكون للفكَّيْن قدرةٌ على التحرُّك نحو الجانبين في أثناء انغلاقهما. تتحقق هذه الحركة لدى الثدييات آكلة العشب الموجودة حاليًّا من خلال تطوير آليةٍ لغلق الفكَّين غير المتساويَيْن في عرضهما. يرتكز هذا على حقيقة أن الفك السفلي يكون عادةً أقل عرضًا من الفك العلوي، فتستطيع عضلاتٌ



شكل ٣-١٠: أسنان الإجواندون وفكَّاه.

خاصة — منسَّقة في حمالة على جانبَيْ عظام كلِّ فكٍّ — التحكُّمَ في وضع الفك بدقة بالغة، بحيث تقابل الأسنان الموجودة في جانب واحد بعضُها بعضًا، ثم تنزلق الأسنانُ السفلى بقوة إلى الداخل بحيث تحتَكُّ الأسنان بعضها ببعض. نطبِّق نحن البشر هذا النمط من آلية غلق الفك، وخاصةً عند تناوُل أطعمة جامدة، إلا أن هذه الآلية تحدث بمبالغةٍ أكبر لدى بعض الثدييات التقليدية الآكلة للعشب، مثل الأبقار والأغنام والماعز، التي يكون تأرجُح الفك لديها واضحًا للغاية.

يعتمد نوع آلية تحريك الفك لدى الثدييات بأكملها على عضلات فكٍّ معقَّدة للغاية، وجهاز تحكُّم عصبي معقَّد، ومجموعة من عظام الجمجمة مصمَّمة خصِّيصَى من أجل تحمُّل الضغوط المصاحبة لطريقة المضغ. وفي المقابل، لا يوجد لدى الزواحف التقليدية

— التي كان الإجواندون أحدها — تكوينٌ لفكَّيْن غير متساويين في عرضهما، وتفتقر إلى التكوين العضلي المعقَّد الذي يسمح بتحديد وضع الفك السفلي بدقة شديدة (لا يهم إن كانت وظيفةُ جهازِها العصبي هي التحكُّم في مثل هذه الحركات)، كما أن جمجمتها غير مجهَّزة بتعزيز خاص من أجل تحمُّل القوى الجانبية التي تؤثِّر في عظام الجمجمة.

يبدو أن الإجواندون يقدِّم لنا أحجية؛ إذ لا ينطبق عليه أيٌّ من النماذج المتوقَّعة! فهل كان ثمة خطأ في عملية التشريح، أم أن هذا الديناصور كان يفعل شيئًا غير متوقَّع؟

يتسم الفك السفلي للإجواندون بقوةِ عظامه وتعقُّدِها إلى حدٍّ ما؛ ففي الطرف الأمامي تثبِّت العظمةُ الأمامية الإضافية جزْأَيِ الفكِّ السفلي معًا. يكون ترتيب الأسنان في الأساس موازيًا لطول الفك، ويوجد في الخلف جزء ناتئ طويل عظمي مخروطي الشكل (الناتئ الإكليلاني)، يكون هو المنطقة التي تتعلَّق بها عضلاتُ غلق الفك القوية، ويكون بمنزلة رافعة لتعزيز قوة الغلق التي يمكن ممارستها على الأسنان. وخلف الناتئ الإكليلاني توجد مجموعةٌ من العظام المجمعة معًا بإحكام شديد، التي تدعم مفصلَ الفك الذي يشبه المفصَّلة. لا يتعرَّض جُزْءَا الفك العلوي في أثناء عملية القضم لقوًى عمودية فقط، تنشأ عن غلق الفك السفلي والأسنان إلى أعلى نحو الأسنان العليا، وإنما يتعرضان أيضًا لقوًى جانبية تنشأ عن إدخال الأسنان السفلى لنفسها بين الأسنان العليا مع تزايد قوة القضمة.

من بين جميع القوى المؤثرة على جمجمة الإجواندون، تعدُّ القوى الجانبية التي تمارَس على أسنانه أكثرَ القوى التي لم تكن الجمجمة مجهَّزةً جيدًا للتعامل معها؛ فقد اتضح في المقطع العرضي للخطم الطويل (المنطقة التي تقع أمام تجويفَيِ العينين)، أنه كان يشبه حدوةَ الحصان. ولمقاومة القوى الجانبية التي تُمارَس على الأسنان، كان لا بد للجمجمة أن تُعزَّز بـ «دعامات» عظمية تصل بين جزْأَي الفك العلوي، ويوجد هذا التكوين لدى الثدييات الموجودة حاليًّا. ودون وجود هذا التدعيم تكون جمجمة الإجواندون معرَّضةً جدًّا لخطر الانقسام على طول خط المنتصف؛ وذلك ببساطة لأن عمق عظام الوجه يمارس قوةً كبيرة على سقف الخطم بسبب القوى الواقعة على الأسنان. وقد حال دون انقسام الجمجمة من المنتصف تزويدُها بعددٍ من المفصلات المنسقة على نحوٍ مائل أسفل كلا جانبَي الجمجمة؛ وقد سمح هذا لجانبَي الجمجمة بالانحناء إلى الخارج معًا أثناء دفع الأسنان السفلى لنفسها بين العليا. كذلك ساعدَتْ سمات أخرى

أكثر عمقًا داخل الجمجمة، في التحكُّم في مقدار الحركة الممكنة على طول هذه المفصَّلة (حتى لا يتحرَّك الفك العلوي ببساطة في جميع الأنحاء بطلاقة).

أطلقتُ على هذا الأسلوب الرائع اسمَ «الحركة الجانبية». من ناحية، يمكن أن نرى هذا الأسلوب على أنه وسيلة لتجنُّب حدوث قصور كارثي في الجمجمة في أثناء عملية القضم الطبيعية؛ ومع هذا، تسمح آلية الحركة الجانبية بوجود حركة «طاحنة» بين مجموعتَي الأسنان المتقابلتين. يشبه هذا الحركةَ الطاحنة التي تحدث لدى الثدييات آكلة العشب بطريقة مختلفة تمامًا.

يمكن ربط هذا الأسلوب الجديد في المضغ بملاحظة أخرى مهمة تتعلَّق بديناصورات، مثل الإجواندون؛ فأسنانها تكون غائرة (موجودة في الداخل) بعيدًا عن جانب الوجه. يتسبَّب هذا في وجود منطقة منخفضة ربما كانت مغطَّاةً بوَجْنَة ممتلئة؛ وهذه سمة أخرى لا علاقةَ لها بالزواحف. ونظرًا لأن الأسنان العليا تتخطَّى في انزلاقها الأسنانَ السفلى لتقطِّع الطعام، يبدو منطقيًّا أن نتوقَّع أنها في كل مرة تمضغ الطعامَ في فمها، سوف يُهدَر نصفه على الأقل من جانبَي الفم! ... هذا بالطبع لو لم توجد وَجْنَة ممتلئة تلتقط الطعام وتعيده مرةً أخرى إلى الفم. إذن يبدو أن هذه الديناصورات لم تكن قادرةً فحسب على مضْغِ طعامها بطريقة معقَّدة على نحوٍ مذهلٍ، بل كانت تتمتَّع أيضًا بوجنتين تشبهان وجنات الثدييات، وكانت تحتاج بالطبع — من أجل المساعدة في وضع الطعام بين الأسنان قبل مضغه — إلى لسان ضخم مليء بالعضلات (وعظام قرنية خيشومية قوية، وهي عظام عضلات اللسان).

بمجرد التعرُّف على أسلوب المضغ الجديد هذا، تمكَّنتُ من إدراك أن أسلوب الحركة الجانبية لم يكن اختراعًا «فرديًّا» متعلِّقًا بالإجواندون، ففي الواقع، كان منتشرًا بين المجموعة العامة للديناصورات التي تُعرَف باسم «الأورنيثوبودات»، التي ينتمي إليها الإجواندون. وبتتبُّع تاريخ التطوُّر العام للأورنيثوبودات عبر حقبة الحياة الوسطى، يتضح أن هذه الأنواع من الديناصورات أصبحت أكثر تنوُّعًا ووفرةً بمرور الوقت؛ فقد وصلت الأورنيثوبودات إلى أكبر انتشار لها في النُّظُم البيئية في أواخر العصر الطباشيري، ويقال دومًا إنها أكثر حفريات الحيوانات الأرضية المُكتشَفة تنوُّعًا، المنتمية إلى هذا العصر. وفي بعض أجزاء من العالم، كانت ديناصورات الأورنيثوبودات — المتمثِّلة في هذا الوقت بالديناصورات البطيةِ المنقار أو «الهادروصوريات» — شديدةَ الوفرة والتنوُّع؛ فتشير بعض الاكتشافات في أمريكا الشمالية إلى قطعان من الهادروصوريات تحتوي

على عشرات الآلاف. كانت الهادروصوريات تتمتَّع بأكثر نُظُم الأسنان الطاحنة تعقيدًا (قد يصل عددُ الأسنان الموجودة في كلٍّ منها إلى ألف سنٍّ في أي وقت)، وبنظام حركة جانبية مكتمِل النمو.

إنَّ الوفرةَ والتنوُّعَ الهائلين اللذين أصبحت عليهما هذه الديناصورات يبدوان أمرًا منطقيًّا؛ لأنها كانت ماهرةً للغاية في تناول الأطعمة النباتية، باستخدام أسلوب الحركة الجانبية، وربما كان نجاحها التطوُّري نتيجةً لوراثتها لآلية المضغ الجديدة التي ظهرت لأول مرة لدى الإجواندون.

الفصل الرابع

الكشف عن أصل الديناصورات

حتى هذه اللحظة، كان اهتمامنا منصبًّا بدرجة كبيرة على فحص الجوانب التشريحية والحيوية لديناصور الإجواندون وطريقة حياته — إن لم يكن مقصورًا على ذلك — وقد اتضح بالطبع أن الإجواندون كان مجرد ديناصور واحد داخل منظومة أكبر بكثير للحياة في حقبة الحياة الوسطى. وإن إحدى المهام المهمة التي تقع على عاتق علماء الحفريات لَهِي محاولةُ اكتشاف أصل الأنواع التي يدرسونها أو تاريخ تطوُّرها. ومن أجل تكوين صورة عن الديناصورات بأكملها، سيكون لزامًا علينا عرض الأساليب المستخدمة في تحقيق هذا، وفهمنا الحالي لتاريخ تطوُّر الديناصورات.

إحدى سمات السجل الحفري أنه يمنحنا تلك الإمكانية المثيرة لتعقُّب أصل الكائنات، ليس فقط لبضعة أجيال بشرية (مدى ما يصل إليه علماء الأنساب في العصر الحديث)، لكن عبر آلاف أو ملايين الأجيال على مدى الزمن الجيولوجي الضخم، والوسيلةُ الأساسية التي يُجرَى بها هذا البحث في العصر الحالي هي أسلوبٌ يُعرَف باسم علم تصنيف تطوُّر السلالات. الفرضية التي يقوم عليها هذا الأسلوب في الواقع بسيطةٌ إلى حدٍّ كبير، فهو يقرُّ بأن الكائنات الحية تمرُّ بالعمليات العامة في التطوُّر الدارويني، وهذا لا يتطلَّب شيئًا أكثر عمقًا من مجرد افتراض أن الكائنات الأقرب صلةً بعضها ببعض — من حيث مفهوم علم الأنساب — يكون بينها تشابُهٌ جسدي أكثر من الموجود بينها وبين الكائنات الأبعد صلةً بها. وفي محاولة استكشاف درجة قرابة الكائنات (في هذه الحالة، الكائنات المتحجِّرة على وجه الخصوص)، فإن أكثر ما يهتم به علماءُ تصنيفِ الحفريات هو تعريفُ مثلِ هذا النطاق الواسع من الصفات التشريحية المحفوظة في الأجزاء الصلبة من هذه الحفريات. ومع الأسف، فسدَ كمٌّ كبير من المعلومات الحيوية المهمة للغاية، وفُقِدَ في أثناء عملية تحجُّر أيِّ هيكل عظمي؛ لذا فإن أسلوب التعامُل الواقعي مع الأمور يقتضي

منَّا تحقيق أقصى استفادة ممكنة من المتبقي لدينا؛ فحتى وقت قريب، اعتمدَتْ إعادةُ تجميع تاريخ تطوُّر السلالات على الصفات التشريحية للأجزاء الصلبة للحيوانات فقط، إلا أن الاختراعات التكنولوجية أتاحت الإمكانية حاليًّا لجمع بيانات — بناءً على التكوين الكيميائي الحيوي والتكوين الجزيئي للكائنات الحية — من شأنها إضافة معلومات مهمة وجديدة إلى هذه العملية.

تتمثَّل مهمة اختصاصيِّ تصنيف الديناصورات في إعداد قوائم مطوَّلة من الصفات التشريحية، بهدف تحديد الصفات المهمة في تطوُّر السلالة، أو التي تحمل إشارةً تطوُّريةً. تهدف هذه المهمة إلى إعداد تسلسُل هرمي للعلاقات قابل للتطبيق، بناءً على تصنيفات تخصُّ حيوانات وثيقة الصلة للغاية.

يحدِّد هذا التحليل أيضًا صفاتٍ تتفرَّد بها حفرياتُ أنواعٍ معينة، وهذه الصفات مهمة لأنها تبرز السمات الخاصة التي تميِّز — على سبيل المثال — الإجواندون عن بقية الديناصورات كلها. قد يبدو هذا أمرًا واضحًا للغاية، لكن في الحقيقة تستند عادةً حفرياتُ الكائنات إلى عدد صغير من العظام أو الأسنان، وإذا اكتُشِفت بقايا جزئية أخرى في صخورٍ في أماكن أخرى بعيدًا عن المكان الأصلي — لكنها تنتمي إلى عصر مشابه للغاية — فقد توجد صعوبة كبيرة للغاية في تقديم دليل مقنع حول ما إن كانت هذه البقايا تنتمي للإجواندون — مثلًا — أم أنها ربما تكون لكائن جديد لم يُكتشَف من قبلُ.

بخلاف الصفات التي تحدِّد تفرُّدَ الإجواندون، لا بد أيضًا من تحديد الصفات التشريحية التي يشترك فيها مع حيوانات في مثل تفرُّده، لكنها وثيقةُ الصلة به. ربما يمكنك أن تعتبر هذه الحيوانات بمنزلة «عائلته» التشريحية، وكلما زادت السماتُ العامة المشتركة بين مجموعات الديناصورات المنتمية إلى «عائلة» واحدة، أتاح هذا إمكانيةً أكبر لتجميعها في فئاتٍ أكبر وأكثر شموليةً من الديناصورات، تكوَّن تدريجيًّا نمطَ العلاقات العام لها جميعًا.

حالة الباريونيكس

خضعت الصخور من أوائل العصر الطباشيري الموجودة في جنوب شرق إنجلترا لدراسة مكثَّفة على يد الباحثين عن الحفريات (بدءًا من جيديون مانتل) والجيولوجيين (خاصةً ويليام سميث)، لأكثر من ٢٠٠ عام. كانت عظام الإجواندون منتشرةً للغاية، وكذا بقايا عدد محدود من

الديناصورات الأخرى، مثل الميجالوصور والهيليوصور والبولاكانتوس والبيلوروصور والفالدصور والهيبسيلوفادون؛ ونظرًا لكثافة هذا العمل، قد يعتقد البعضُ استحالةَ العثور على أي شيء جديد آخَر على الإطلاق. لكن في عام ١٩٨٣ اكتشف جامِعُ الحفريات الهاوي ويليام ووكر عظامَ مخلب كبير في حفرةٍ من الطمي في سَري، قادت إلى استخراج ديناصور مفترس طوله ٨ أمتار، وكان اكتشافًا علميًّا جديدًا بالكامل. سُمِّي الديناصور باريونيكس ووكري تكريمًا لمُكتشِفه، واحتلَّ مكانَ الصدارة في متحف التاريخ الطبيعي في لندن.

المغزى من هذه القصة أنه لا يوجد أمر مُسلَّم به؛ فمن المحتمل أن يكون السجل الحفري مليئًا بالمفاجآت.

السؤال الحقيقي هو: كيف يتحقَّق هذا النمط العام من العلاقات؟ طوال فترة طويلة للغاية، كانت الطريقةُ العامة المُستخدَمة تُوصَف ببساطة بمقولة «أنا أعرف أكثر.» لقد كانت هذه حرفيًّا وجهةَ نظرِ الخبراء المدَّعِين، الذين قضَوْا وقتًا طويلًا في دراسة مجموعة معينة من الكائنات، ثم لخَّصوا أنماطَ التشابُه العامة لمجموعتهم؛ ربما تتفاوت كثيرًا أساليبُهم في فعل هذا، لكن في النهاية لم يكن نمطُ العلاقة المفضَّل لديهم يزيد عن كونه تفضيلًا شخصيًّا لهم أكثر من كونه حلًّا دقيقًا للغاية ناتجًا عن مناقشة علمية. وفي حين نجحت هذه الطريقة على نحوٍ معقولٍ لمجموعات محدودة من الكائنات، ثبَتَ أنه من الصعب استخدامُها في مناقشةِ صحةِ أحد التفسيرات على نحوٍ سليمٍ مقارَنةً بآخَر؛ لأن الحجج — عند تحليلها إلى عناصرها الأساسية — كانت غير مباشِرة وتعتمد على اعتقادِ شخصٍ ما مقابِل آخَر.

ظهرت هذه المشكلة الأساسية بوضوح شديد عند وجود مجموعات من الكائنات أعدادُها كبيرةٌ للغاية ومتنوِّعة بطرق كثيرة دقيقة، وخير مثال على هذا مجموعاتُ الحشرات، أو بعض الأنواع المذهلة من الأسماك العظمية. إذا حدث وتقبَّلَ المجتمعُ العلمي العام عن طيب خاطرٍ سلطةَ أحد العلماء لفترة من الوقت، فإن كل الأمور ستبدو على ما يرام؛ ومع هذا، في الحالات التي لم يستطع فيها الخبراءُ الاتفاقَ، كانت النتيجة النهائية مع الأسف نقاشاتٍ عديمةَ الجدوى.

على مدار العقود الأربعة الماضية، أُقِرَّت تدريجيًّا منهجية جديدة ثبَتَ أن لها قيمة علمية أكبر. إنها لا تقدِّم بالضرورة الإجاباتِ الصحيحةَ، لكنها على الأقل تقبل التدقيقَ العلمي والنقاشَ الفعلي؛ يُعرَف هذا الأسلوب على نطاق واسع حاليًّا باسم التصنيف

التفرُّعي الحيوي (أو «علم تصنيف تطوُّر السلالات»). يتعامل البعض مع هذا الاسم بدرجةٍ من الخوف، لكن السبب في هذا يرجع إلى حدٍّ كبير إلى وجود بعض المناقشات العنيفة للغاية حول طريقةِ تطبيق التصنيف التفرُّعي الحيوي عمليًّا، والأهميةِ العامة التي قد توجد للنتائج في أحد سياقات التطور. لِحُسن الحظ، لسنا بحاجةٍ إلى إمعان النظر كثيرًا في هذا النقاش؛ لأن مبادئه بالفعل بسيطةٌ وواضحة على نحوٍ مذهل.

إنَّ مخطط الفرع الحيوي، المعروف أيضًا بمخطط التصنيف التفرُّعي الحيوي، هو مخطط شجري تشعُّبي يربط جميعَ الأنواع التي كانت قيد الدراسة في وقتٍ ما. ومن أجل رسم هذا المخطط، يحتاج الباحث إلى إعداد جدول (مصفوفة من البيانات) يحتوي على عمودٍ تُذكَر فيه الأنواعُ الخاضعة للفحص، وأمام هذا العمود سَرْدٌ للصفات (التشريحية والكيميائية الحيوية، وغيرهما) التي تظهر في كلٍّ من هذه الأنواع؛ ثم يحصل كلُّ نوع على «علامة» توضِّح إذا كان يحمل الصفة أم لا، فيدل (١) على أنه يحمل الصفة، في حين يدل (٠) على أنه لا يحملها؛ وفي بعض الحالات، إذا كان القرارُ غيرَ مؤكَّد، يمكن التعبير عن هذا بعلامة (؟). بعد ذلك، تخضع مصفوفة البيانات الناتجة عن هذه العملية (التي قد تكون ضخمةً للغاية) للتحليل باستخدام عدد من برامج الكمبيوتر الخاصة، التي يتمثَّل دورُها في تقييم توزيع علامات الآحاد والأصفار، وتكوين مجموعة من الإحصائيات التي تحدِّد أكثرَ توزيعٍ للبيانات المشتركة بين الأنواع المختلفة، ذي علاقة بتطوُّر السلالات. يشكِّل مخطط الفرع الحيوي الناتج نقطةَ البدء لعدد كبير من عمليات الفحص الأخرى التي تهدف إلى تحديدِ وفهمِ إلى أي مدًى توجد أنماط مشتركة أو أوجه تشابُهٍ عامة، وكذلك إلى أي مدًى قد تكون هذه البيانات مضلِّلة أو خاطئة.

لا يمثِّل مخطط الفرع الحيوي الناتج عن هذا النوع من التحليل أكثرَ من مجرد فرضية إرشادية عن العلاقات القائمة بين الحيوانات الخاضعة للدراسة. يحدِّد كلُّ فرع في الشجرة النقاطَ التي يمكن عندها تحديدُ مجموعةٍ من الأنواع ترتبط كلها بعضها ببعض عن طريق اشتراكها في عدد من الصفات المميزة. وباستخدام هذه المعلومات يمكن في الواقع إنشاءُ نوعٍ من سلسلةِ النسب أو تاريخ تطوُّر السلالة يمثِّل نموذجًا لتاريخ تطور المجموعة بأكملها؛ على سبيل المثال: إذا رُسِمَت العصور الجيولوجية المعروفة لوجود كل نوع على هذا المخطط، فإنه يصبح من الممكن الإشارةُ إلى التاريخ العام للمجموعة، وكذلك الوقت المحتمل الذي ربما ظهرت فيه الأنواعُ المتنوعة؛ وبهذه الطريقة، بدلًا من أن يمثِّل مخططُ الفرع الحيوي مجردَ ترتيب مكاني مناسب للأنواع، فإنه يبدأ

في محاكاة سلسلة نسب حقيقية. من الواضح أن كل تأريخ تطوري ينشأ بهذه الطريقة تنبع جودته من جودة البيانات المتاحة، ويمكن أن تتغير البيانات وكيفية تسجيلها مع اكتشاف حفريات جديدة أو أفضل أو أكثر اكتمالًا، وكذلك مع ظهورِ أساليب تحليل جديدة أو تحسينِ الأساليب الأقدم.

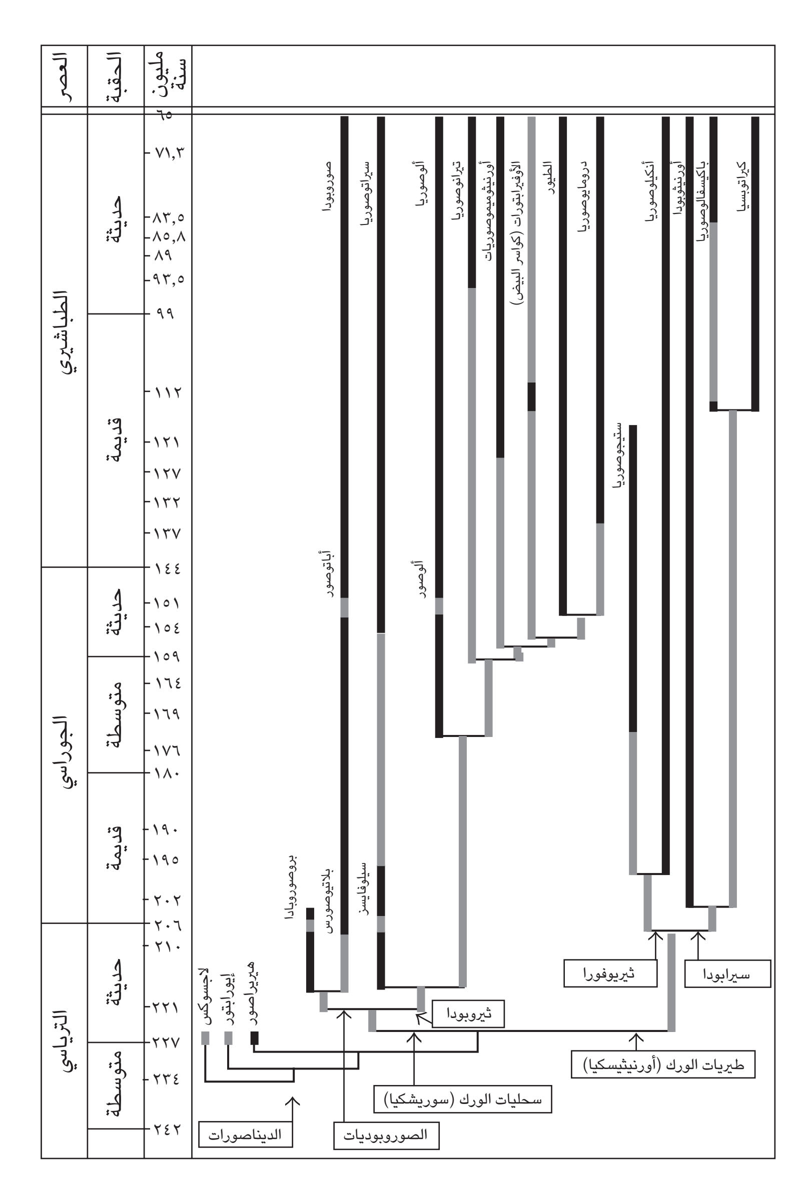
يهدف كل هذا العمل إلى تكوين صورة دقيقة قدر المستطاع لتاريخ تطوُّر الحياة أو لتاريخ تطور الديناصورات — في هذه الحالة على وجه الخصوص.

تاريخ تطور الديناصورات بإيجاز

يظهر أحد الأمثلة الشائقة على هذا النوع من الأساليب المنهجية لتناوُل تطوُّر الديناصورات في عمل جاك جوتيه (ييل) وبول سيرينو (شيكاجو). قضى سيرينو وقتًا طويلًا — على مدار العقدين الماضيين — في دراسة التصنيف المنهجي والتاريخ العام لتطوُّر الديناصورات، ويلخِّص الشكل (٤-١) عملَه ويتيح الفرصةَ لعرض نظرة عامة موجزة للغاية.

يشير الاعتقاد التقليدي إلى أن الديناصورات (حسبما أدرك أوين بحِسه) من الزواحف؛ نظرًا لوضع أرجلها المنتصِب، والوصلات المعززة على نحوٍ خاص بين الأرداف والعمود الفقري بهدف تسهيل حمل الجسم بكفاءة على الأرجل التي تشبه الأعمدة. منحت هذه التغييرات الديناصورات الأولى بعضَ الخصائص القيِّمة للغاية؛ أرجلًا تشبه الأعمدة قادرة على حمل وزن الجسم الهائل بكفاءة كبيرة حيث استطاعت الديناصورات أن تصبح كائنات ضخمة للغاية، كما تسمح الأرجل التي تشبه الأعمدة بخطوة واسعة؛ مما يعني أن بعض الديناصورات كانت تستطيع التحرُّكَ بسرعة كبيرة. استخدمت الديناصورات كلتا الصفتين بفاعلية كبيرة طوال فترة سيادتها على الأرض.

في حين أن كل الديناصورات تشترك في هذه الصفات الأساسية، فإنه يمكن تقسيمها إلى نوعين أساسيين مختلفين: سوريشكيا (تعني حرفيًّا «سحليات الورك»)، وأورنيثيسكيا (وتعني «طيريات الورك»). وكما يشير هذان الاسمان، فإن الاختلافات بين مثل هذه الديناصورات كانت تكمن أساسًا في تكوين عظام الورك، على الرغم من أهمية العديد من الصفات التشريحية الأخرى الأقل وضوحًا في المساعدة في التمييز بين هذين النوعين الرئيسيين. عُثِرَ على ديناصورات أولى تنتمي لهاتين المجموعتين في صخور من العصر الكارني (على الأقل منذ ٢٢٥ مليون سنة)، لكن لم يكن من الممكن العثور على أول



شكل ٤-١: مخطط الفرع الحيوي للديناصورات.

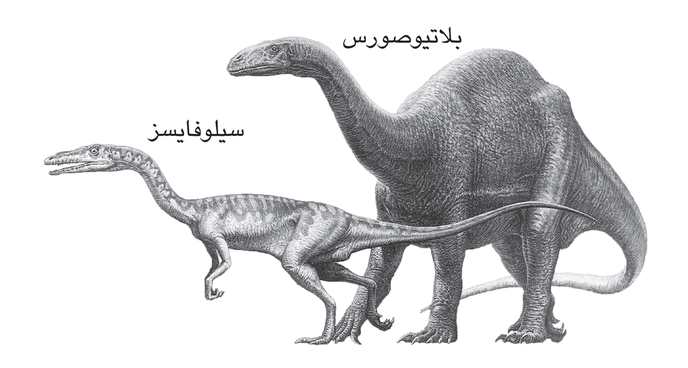


شكل ٤-٢: «داينونيكس»: نموذج معادٌ تكوينه من العظم وحتى الجلد. تُرى، هل كان لديه أيضًا غطاء من الشعيرات؟

ديناصور على الإطلاق، أو معرفة إن كان قطعًا من سحليات الورك أم من طيريات الورك، أم مجرد نوع من الديناصورات لم يكن ينتمي حتى تلك اللحظة لأيٍّ من النوعين.

سحليات الورك

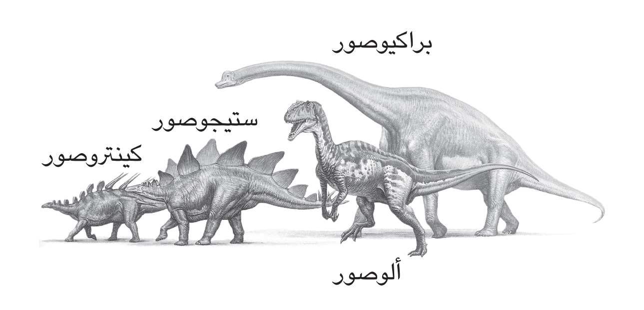
تضمُّ الديناصورات المنتمية إلى فئة سحليات الورك نوعين كبيرين. الصوروبوديات هي في الأساس كائنات ضخمة الجسم وأرجلُها تشبه الأعمدة، ولديها ذيول طويلة على نحوٍ استثنائي ورقاب طويلة توجد في نهايتها رءوسٌ صغيرة، ويحتوي فكَّاها على صفَّيْن من الأسنان البسيطة المخروطية الشكل؛ مما يشير إلى نظام غذائي نباتي، وتضمُّ هذه الفئةُ ديناصوراتٍ عملاقةً مثل ديناصورات عائلة ديبلودوكس وعائلة براكيوصور (الشكل ٤-٣)، ومجموعة ديناصورات تيتانوصور. تختلف الثيروبودات بوضوح عن



شكل ٤-٣: سحليات الورك من العصر الترياسي. الديناصور سيلوفايسز من الثيروبودات الأولى، والديناصور بلاتيوصورس من الصوروبودات.

أقاربها من الصوروبوديات؛ فجميعها تقريبًا ديناصورات رشيقة، وتسير على قدمين، وآكلة لحوم في الأساس (الشكلان ٤-٣، و٤-٤). يحقِّق ذيل طويل ومليء بالعضلات التوازنَ مع الجزء الأمامي للجسم عند منطقة الأرداف؛ مما يجعل الذراعين واليدين تتحرك بحرية للإمساك بالفرائس، كذلك فإن رءوسها كبيرة إلى حدٍّ ما ويحتوي فكَّاها على أسنان حادة تشبه السكين. تتدرَّج أنواعُ الديناصورات هذه من كائنات صغيرة وضعيفة إلى حدٍّ ما، مثل كومبسوجناثز، التي يُشار إليها عادةً باسم الكويلوروصوريات، وحتى تصل إلى كائنات ضخمة للغاية مثل التيرانوصور الأسطوري، في حين تشتمل الثيروبودات الأخرى ذات الحجم الكبير والشكل المخيف، على ديناصورات جيجانتوصور وألوصور وباريونيكس وسبينوصور. على الرغم من أن بعض هذه الديناصورات قد يكون مشهورًا، فقد اتضح أن المجموعة بأكملها شديدةُ التنوُّع على نحوٍ استثنائي، وفي بعض الحالات تكون غريبةً إلى حدٍّ ما؛ فعلى سبيل المثال: يبدو أن التريزينوصور المُكتشَف حديثًا كان كائنًا ضخمًا وثقيلَ الحركة، ولديه مخالب طويلة تشبه المنجل في كلتا يدَيْه، وكان لديه بطن ضخم ورأس صغير، ويحتوي فكَّاه على أسنان أكثر شبهًا بأسنان آكلات العشب منها بأسنان آكلات اللحم المعروفة. مع ذلك، كانت ثيروبودات أخرى تُعرَف باسم الأورنيثوميموصوريات، والأوفيرابتورات كائنات خفيفة البنية وتشبه النعام وعديمة الأسنان تمامًا (ومن ثَمَّ، كان لديها منقار تمامًا مثل الطيور الموجودة

حاليًّا)، لكنَّ الأكثرَ إثارةً للاهتمام من بين هذه المجموعة الكاملة من الديناصورات المجموعةُ الفرعية المعروفة باسم الدرومايوصورات.



شكل ٤-٤: ديناصورَا كينتروصور وستيجوصور سحليًّا الورك منتميان للثيروفورات من العصر الجوراسي. والألوصور الثيروبودي والبراكيوصور الصوروبودي طيريًّا الورك.

تضمُّ الدرومايوصورات كائنات شهيرة مثل فيلوسيرابتور وداينونيكس، ومجموعة من كائنات مشابهة ولكن أقل شهرةً اكتُشِفَت مؤخرًا. إنَّ الاهتمام الخاص الذي تحظى به ينبع من حقيقة أن تشريح هيكلها العظمي يشبه إلى حدٍّ كبير هيكلَ الطيور الموجودة حاليًّا؛ في الواقع أوجهُ التشابُه كبيرةٌ للغاية، لدرجة أنه يُعتقَد أنها الأسلاف المباشِرة للطيور. تشير الاكتشافات الحديثة المثيرة في مواقع بمقاطعة لياونينج في الصين — التي تُظهِر ظروفَ حفظٍ استثنائية لدرومايوصورات ثيروبودية — إلى وجود مادة تغطي أجسامها مكوَّنة إما من شعيرات كيراتينية (مثل شعر خشن)، وإما في بعض الحالات من ريش يشبه فعليًّا ريش الطيور؛ مما يؤكِّد وجهَ التشابه بينها وبين الطيور الحديثة.

طيريات الورك

يُعتقَد أن جميع الديناصورات المنتمية إلى فئة طيريات الورك كانت آكلةً للعشب، وتشبه إلى حدٍّ ما ثدييات العصر الحديث، وتبدو أكثر تنوُّعًا وأكبر عددًا من مفترساتها المحتملة.

إن مجموعة الثيريوفورا (الشكل ٤-١) مجموعة رئيسية من طيريات الورك تتَّسِم بوجود صفائح عظمية في جدار جسمها — هي عبارة عن أشواك أو أشكال مثل ورقة

البرسيم تزيِّن ذيولها — وتتمتَّع بأسلوب حركة رباعي تقريبًا خاصٍّ بها. تضمُّ هذه الأنواع من الديناصورات الستيجوصورات المستمِدة اسمَها من الستيجوصور الشهير — المعروف برأسه الصغير، وبصفوف الصفائح العظمية الكبيرة على ظهره، وبذيله الشوكي (الشكل ٤-٤) — والأنكيلوصورات ذات الدرع الثقيلة التي تضمُّ كائنات مثل يوأوبلاسيفلوس. كان هذا الديناصور الأخير حيوانًا ضخمًا يشبه الدبَّابة، وكان لديه درع ثقيلة من الصفائح لدرجة أن جفونه كانت معزَّزة بأغطية عظمية، وكان ذيله ينتهي بجزء عظمي ضخم يشبه ورقة البرسيم، كان يستخدمه على ما يبدو في إسقاط المفترسات المحتمَلة.

كانت السيرابودات (الشكل ٤-١) مختلفة للغاية عن الثيروفورات؛ فقد كانت إجمالًا خفيفةَ البِنية وغير مدرعة وتسير على قدمين، على الرغم من أن قليلًا منها تحوَّلَ إلى طرق السير على أربع قوائم. كانت الأورنيثوبودات مجموعة رئيسية من السيرابودات، وكان كثير من هذه الديناصورات متوسطَ الحجم (يتراوح بين مترين و٥ أمتار)، كما كانت وفيرة العدد (كانت تملأ المواضع البيئية التي تشغلها الظباء والغزال والأغنام والماعز في عصرنا الحالي). تمتَّعَتْ هذه الحيوانات — مثل هيبسيلوفودون — بالتوازن عند الأرداف (تمامًا مثل الثيروبودات)، وكان لدى كلٍّ منها رجلان نحيلتان من أجل الركض السريع، ويدان للإمساك بالأشياء، والأهم من هذا أسنان وفكَّان ووجنتان مهيَّأة كلها لنظام غذائي نباتي. طوال فترة سيادة الديناصورات، كانت الأورنيثوبودات الصغيرة والمتوسطة الحجم موجودةً بوفرة كبيرة، لكن في أثناء حقبة الحياة الوسطى تطوَّرَ عددٌ من الأنواع الأكبر حجمًا، التي كانت تُعرَف باسم الإجواندونيات؛ لأنها كانت تضمُّ ديناصورات مثل الإجواندون. كان أهم نوع بين جميع الإجواندونيات الديناصورات البطية المنقار — أو الهادروصوريات — الوفيرة العدد على نحوٍ استثنائيٍّ، التي عاشت في أواخر العصر الطباشيري في أمريكا الشمالية وآسيا؛ كانت بعض هذه الديناصورات (لكن ليس كلها) تتمتع بالفعل بأنف يشبه منقارَ البطة، بينما تمتَّعَ البعض الآخَر بمساحة كبيرة من أغطية الرأس المجوفة المبهرة التي تشبه التيجان (انظر الفصل السابع)؛ وربما كانت أغطية الرأس هذه تُستخدَم في إرسال الإشارات الاجتماعية، وبالأخص من أجل إصدار أصوات صياح عالية. أما المجموعة السيرابودية الكبرى الأخرى، فكانت تمثِّلها الديناصوراتُ ذات التكوين العظمي نصف الدائري على رأسها، التي ظهرت في العصور الطباشيرية، وضمَّتْ هذه المجموعة ديناصور باكيسفلاصور (الديناصور ذا

الرأس السميك) الاستثنائي الذي كان يشبه الأورنيثوبودات إلى حدٍّ كبير في شكله العام، لكن رأسه كان غريب الشكل للغاية. كان معظم هذه الديناصورات لديه قبة عظمية مرتفعة فوق رأسها، كانت تشبه إلى حدٍّ ما غطاءَ رأس الهادروصوريات، باستثناء حقيقة أن غطاء رأس الباكيسفلاصور كان مصنوعًا من العظم الصلب. وقيل إن هذه الكائنات كانت نموذج «الحيوانات المتقاتلة بالرأس» في العصر الطباشيري، وربما كانت تستخدم القتالَ بالرأس بطريقةٍ تشبه ما نراه بين بعض الحيوانات المشقوقة الحافر في وقتنا الحالي.

أخيرًا، كانت توجد الكيراتوبسيا، وهي مجموعة من الديناصورات تضمُّ ديناصور بروتوسيراتوبس الأسطوري المذكور في المقدمة، بالإضافة إلى ديناصور تريسراتبس (الثلاثي القرون) الشهير. كل هذه الديناصورات كان لها منقار فريد غير عريض في طرفَيْ فكَّيْها، ويحيط بالحافة الخلفية لجمجمتها تكوينٌ عظمي يشبه الطوق. وفي حين كان بعض هذه الديناصورات — خاصةً المجموعات الأولى منها — يسير على قدمين، كبرَ عددٌ كبير منها في الحجم كثيرًا، وزاد حجم رأسها، الذي كان يزينه تكوينٌ عظمي ضخم يشبه الطوق المكشكش وقرونٌ هائلة في حاجبَيْها وأنفها. دفعها حجمُها الضخم ورأسُها الثقيل إلى الوقوف على قوائمها الأربع، ويتضح وجه الشبه بينها وبين حيوانات وحيد القرن في عصرنا الحالي بدرجة كبيرة. من الواضح — كما تُظهِر هذه الدراسة الموجزة إلى حدٍّ كبير — أن الديناصورات كانت متعدِّدة ومتنوِّعة، بناءً على الاكتشافات التي حدثت على مدار ٢٠٠ سنة مضت. لكن على الرغم من أنه حتى وقتنا هذا أصبحنا نعرف نحو ٩٠٠ نوع من الديناصورات، فإن هذا مجرد جزء ضئيل من الديناصورات التي عاشت طوال ١٦٠ مليون سنة في أثناء سيطرتها خلال حقبة الحياة الوسطى. للأسف لن نتمكَّن أبدًا من اكتشاف كثير من هذه الأنواع؛ لأن حفرياتها لم تُحفَظ قطُّ، والبعض الآخر سيكتشفه صائدو الديناصورات الباسلون في السنوات القادمة.

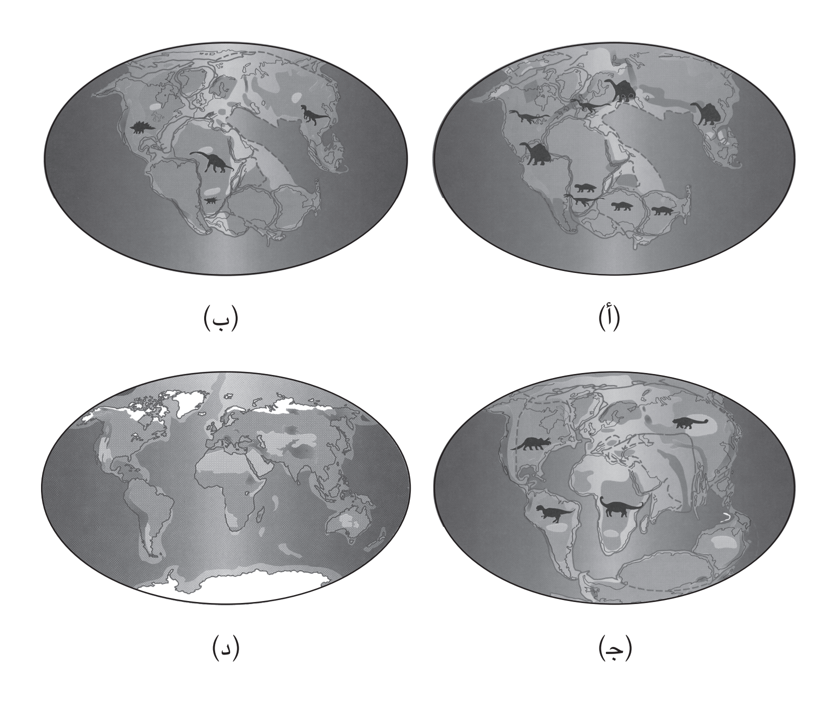
تصنيف الديناصورات والجغرافيا الحيوية القديمة

قد يكون لمثل هذا النوع من الأبحاث نتائج عرضية ممتعة، وإن كانت غير متوقَّعة بعض الشيء؛ إحدى هذه النتائج التي سنتناولها هنا تربط تطوُّرَ السلالات بالتاريخ الجغرافي للأرض؛ ففي الواقع ربما كان للأرض تأثيرٌ عميق على النمط العام للحياة.

تكوَّنَ الجدولُ الزمني الجيولوجي للأرض من التحليل المضني لأعمار مجموعات متتالية من الصخور المكشوفة في أماكن متعددة على سطح الأرض. كان أحد المكونات المهمة التي ساعدت في هذه العملية، الأدلة المستمدَّة من الحفريات الموجودة داخلها؛ فإذا احتوَتْ صخورٌ من أماكن مختلفة على حفرياتٍ من النوع نفسه بالضبط، أمكن أن نفترض بقدر معقول من الثقة أن هذه الصخور كانت من العصر نفسه الذي تنتمي إليه تلك الحفريات.

على نحو مشابه، بدأ دليلُ تشابُهِ الحفريات من أجزاءٍ مختلفة في العالم، يشير إلى أن القارات ربما لم تكن ثابتةً في أماكنها التي تبدو عليها في عصرنا الحالي؛ على سبيل المثال: لُوحِظ أن الصخور والحفريات التي تحتوي عليها بَدَتْ متشابهةً إلى حدٍّ كبير على جانبَيِ الجزء الجنوبي للمحيط الأطلنطي. تبيَّنَ أن ثمة نوعًا من الزواحف المائية الصغيرة يُسمَّى ميسوصور، عاش في صخور برمية متشابهة بدرجة ملحوظة في البرازيل وجنوب أفريقيا؛ وقد أشار فرانسيس بيكون منذ وقت طويل يرجع إلى عام ١٦٢٠، إلى أن سواحل الأمريكتين وأوروبا وأفريقيا تبدو متشابهةً على نحوٍ ملحوظ (انظر الشكل ٤-٥(د))، لدرجة أنها بَدَتْ كما لو كانت قطعتين لأحجيةِ صورٍ مقطوعةٍ ضخمة. بناءً على الأدلة المستمدة من الحفريات والصخور وتشابُه الشكل العام، أشار عالِمُ الأرصاد الجوية الألماني ألفريد فيجنر في عام ١٩١٢، إلى أن القارات الموجودة على سطح الأرض كانت حتمًا تحتلُّ في وقتٍ ما في الماضي مواضعَ أخرى تختلف عن أماكنها في عصرنا الحالي، فكانت — على سبيل المثال — الأمريكتان والمنطقةُ الأورو-أفريقية متلاحمتين في العصر البرمي. ولأن فيجنر لم يكن جيولوجيًّا مدربًا، تعرَّضَتْ آراؤه للتجاهُل أو رُفِضت بوصفها تكهناتٍ لا علاقةَ لها بالموضوع ولا يمكن إثباتها. وعلى الرغم من القدرة البديهية لنظرية فيجنر على الإقناع، فإنها كانت تفتقر إلى الآلية؛ إذ يقضي المنطقُ باستحالة تحريك أشياء في حجم القارات عبر السطح الصلب للأرض.

مع هذا، ثبت أن هذا المنطق مضلِّل؛ ففي خمسينيات وستينيات القرن العشرين، تراكمت سلسلةٌ من الملاحظات التي تدعم آراءَ فيجنر؛ أولًا: أظهرت نماذجُ مفصَّلة للغاية لكل القارات الكبرى أنه يمكن بالفعل أن تتلاحم معًا بدقة مذهلة، وبقدرٍ من التشابه لا يمكن أن يكون وليدَ المصادفة. وثانيًا: ثَمَّة صفاتٌ جيولوجية كبرى موجودةٌ على القارات المنفصلة أصبحت متصلةً عندما أُعِيدَ تجميع القارات معًا مثل الأحجية. وأخيرًا: أظهرت أدلة من المغناطيسية القديمة للأرض ظاهرةَ توسُّعِ قاع البحر؛ بمعنى أن قاع المحيط



شكل ٤-٥: **تغيُّر القارات:** (أ) العصر الترياسي تظهر فيه القارةُ العظمى الواحدة التي تُعرَف باسم «بانجيا». (ب) منتصف العصر الجوراسي. (جـ) أوائل العصر الطباشيري؛ لاحِظْ أن صور الديناصورات أصبحت أكثرَ اختلافًا مع انفصال القارات بعضها عن بعض. (د) القارات في صورتها الحالية؛ عند حذف المحيط الأطلنطي، قد تلتحم الأمريكتان مع غرب أفريقيا بدقةٍ.

كان يتحرك مثل أحزمة ضخمة ناقلة للقارات، وأكَّدت البقايا التاريخية للمغناطيسية في الصخور القارية أن القارات قد تحرَّكَتْ بمرور الزمن. وكان «المحرك» الذي يقود هذه الحركة فعليًّا هو الحرارة الموجودة في لبِّ الأرض، وسيولة الصخور في طبقة الوشاح داخل الأرض. إن نظرية الألواح التكتونية المسئولة عن حركة القارات فوق سطح الأرض، بمرور الوقت أصبحت شهيرةً ومؤيَّدةً حاليًّا.

إن دلالات نظرية الألواح التكتونية من منظور تطوُّر الديناصورات، مثيرةٌ للاهتمام للغاية. إن إعادة تكوين الأشكال القديمة للقارات — بالاعتماد إلى حدٍّ كبير على

المغناطيسية الأرضية القديمة، والدراسة المفصَّلة للطبقات الصخرية — تشير إلى أن القارات عند نشأتها كانت متجمعة معًا في كتلة أرضية ضخمة واحدة، تُعرَف باسم «بانجيا» (بمعنى كل الأرض) (الشكل ٤-٥(أ))؛ كانت الديناصورات في هذا الوقت قادرةً تمامًا على التنقُّل في جميع أنحاء الأرض؛ ونتيجةً لهذا، اكتُشِفت بقايا أنواع متشابهة نسبيًّا فيما يبدو (الثيروبودات والصوربوديات) في كل القارات تقريبًا.

خلال عصور لاحقة — الجوراسي (الشكل ٤-٥(ب))، والطباشيري (الشكل ٤-٥(ج)) — من الواضح أن القارة العظمى بدأت تتجزَّأ عندما أبعدت الأحزمةُ التكتونية الناقلةُ القويةُ للغاية ببطء، لكن بقوة أيضًا، أجزاءَ قارةِ بانجيا بعضها عن بعض. كان الناتج النهائي لهذه العملية في نهاية العصر الطباشيري هو ظهور عالَمٍ — على الرغم من كونه مختلفًا من الناحية الجغرافية (انظر إلى مكان الهند على وجه الخصوص في الشكل ٤-٥(ج)) — كان شكلُ بعضِ قاراته مألوفًا للغاية.

يبدو أن الديناصورات الأولى استطاعت الانتشارَ عبر معظم أجزاء قارة بانجيا، هذا بناءً على حفرياتها؛ لكن في العصر الجوراسي والعصر الطباشيري التالي له، كان من الواضح أن هذه القارة العظمى الموحدة أصبحت بالتدريج مجزَّأةً، بفعل الطرق البحرية التي تخلَّلَتْها مع ابتعاد أجزاء في حجم القارات بعضها عن بعض تدريجيًّا.

أحد الآثار الحيوية الحتمية لهذه العملية الفطرية (المرتبطة بالأرض) المتمثِّلة في انفصال القارات، هو أن مجموعة الديناصورات التي كانت ذاتَ يومٍ تعيش في مختلف أرجاء العالم، أصبحت منفصلةً تدريجيًّا ومنعزلةً. وكانت ظاهرةُ العزلة أحدَ المحاور الأساسية لتطوُّر الكائنات؛ فعندما تنفصل الكائناتُ تخضع لتغيُّرات تطوُّرية استجابةً للتغيُّرات المحلية في بيئتها المباشِرة. وفي هذه الحالة — على الرغم من أننا نتعامل مع مناطق ضخمة نسبيًّا (بحجم القارات) — فإن كل جزء من الأجزاء القارية حمَلَ معه مجموعتَه من الديناصورات (والحيوانات والحياة النباتية المرتبطة بها)، وبمرور الوقت، حظي كل كائن منها بفرصةٍ للتطوُّر على نحوٍ مستقلٍّ استجابةً للتغيُّرات المحلية في بيئته، مدفوعًا — على سبيل المثال — بالتغيُّرات المتتابعة في دوائر العرض وخطوط الطول، وتيارات المحيط المجاورة، والظروف المناخية السائدة.

يقضي المنطق بحتمية تأثير الأحداث التكتونية التي وقعت خلال حقبة الحياة الوسطى، في نطاق تاريخ تطوُّر الديناصورات ونمطه العام. في الواقع، يبدو منطقيًّا للغاية افتراض أن التبعثُر التدريجي لأسلاف الأنواع على مرِّ الزمن، كان له حتمًا دورٌ

كبير في تسريع التنوُّع الموجود في المجموعة بأكملها. وتمامًا كما نستطيع عرْضَ تاريخ تطوُّر سلالة الديناصورات باستخدام مخطط فرع حيوي، نستطيع كذلك عرْضَ التاريخ الجغرافي للأرض طوال حقبة الحياة الوسطى، في صورة سلسلةٍ من الأحداث المتشعِّبة مع انفصال الكتل القارية من قارة بانجيا «القديمة». بالطبع، هذا الأسلوب العام ما هو إلا تبسيطٌ لتاريخ الأرض الحقيقي؛ لأن القِطَع القارية كانت تلتحم أحيانًا، فتعيد الجمْعَ بين الأنواع المنفصلة من قبلُ؛ لكن كتقديرٍ أوَّليٍّ على الأقل، يقدِّم هذا أرضًا خصبة للبحث في بعض الأحداث الأوسع نطاقًا في تاريخ الأرض.

إذا كان هذا النموذج من التاريخ الطبيعي للديناصورات حقيقيًّا بوجه عام، فقد نتوقَّع التمكُّنَ من اكتشاف بعض الأدلة التي تدعمه، عن طريق البحث في تفاصيل السجل الحفري لأنواع الديناصورات، والنماذج التكتونية لتوزيع القارات طوال حقبة الحياة الوسطى. وقد تطوَّرَ هذا الأسلوبُ في السنوات الأخيرة، من أجل البحث عن أنماط متزامنة في تاريخ تطوُّر الديناصورات، ومعرفة ما إذا كان تاريخُ تطوُّرها ينعكس في التوزيع الجغرافي.

تطوُّر الأورنيثوبودات

اهتمت الأبحاث الأولى التي أُجرِيت في هذا المجال البحثي في عام ١٩٨٤، بمجموعة من الديناصورات وثيقة الصلة بديناصور إجواندون المعروف. بوجه عام، تُعرَف هذه الأنواع من الديناصورات باسم أورنيثوبودات (بمعنى «قدم الطائر»، نسبةً إلى التشابُه العابر والطفيف بين هذه الديناصورات والطيور الحالية، من حيث تكوين أقدامها). وبالمقارَنة بين تشريحات عدد من أنواع الأورنيثوبودات المعروفة في هذا الوقت بقدرٍ من التفصيل، تمكَّنَ العلماء من رسم مخطط فرع حيوي. ومن أجل تحويل هذا المخطط إلى تاريخ فعلي لتطوُّر السلالة، كان لا بد من رسم التوزيع المعروف لهذه المجموعة على مر الزمن وتوزيعها الجغرافي على مخطط الفرع الحيوي.

ظهرت بعض الأنماط المذهلة في تاريخ هذه الأورنيثوبودات من هذا التحليل؛ بدايةً، بَدَا أنها تشير إلى أن النماذج الوثيقة الصلة «بالإجواندون» (أيْ أفراد المجموعة المعروفة باسم «الإجواندونيات») وأقاربها المقرَّبة (أعضاء عائلة الهادروصوريات)، ربما تكون قد نشأت نتيجةَ الانفصال القارِّي الذي حدث خلال أواخر العصر الجوراسي؛ ففي هذا الوقت، أصبحت الأسلاف — التي ربما تطوَّرَتْ منها هاتان المجموعتان —

مقسَّمةً بفعل طريق بحري. وعقب هذا الانقسام، تطوَّرَتْ مجموعة من الكائنات لتصبح الهادروصوريات في آسيا، في حين تطوَّرَتِ الإجواندونيات في مكانٍ آخَر. يبدو أن كلًّا من هاتين المجموعتين قد تطوَّرت بمعزل عن الأخرى خلال أواخر العصر الجوراسي وأوائل العصر الطباشيري. لكن خلال النصف الثاني من العصر الطباشيري، أصبحت آسيا متصلةً مرةً أخرى ببقية قارات نصف الكرة الشمالي، ومن الواضح أن ما بها من هادروصوريات قد تمكَّنَ من الانتشار عبر نصف الكرة الشمالي دون إعاقةٍ تُذكَر، وحَلَّ محلَّ الإجواندونيات أينما الْتَقَى بها.

وفي حين بَدَا نمطُ إحلال الهادروصوريات محلَّ الإجواندونيات خلال أواخر العصر الطباشيري متَّسِقًا إلى حدٍّ ما، كان ثمة استثناءٌ أو استثناءان محيِّران لا بد من دراستهما.

ظهرت تقارير، كُتِبت في مطلع القرن العشرين، عن وجود إجواندونيات في أوروبا (فرنسا ورومانيا على وجه الخصوص) في صخور من أواخر العصر الطباشيري؛ وبناءً على التحليل السابق ذكره، لم يكن من المتوقَّع أبدًا لهذه الديناصورات البقاءُ حتى أواخر العصر الطباشيري؛ لأن النمط السائد في كل مكان آخَر كان استبدالَ الهادروصوريات بالإجواندونيات. وفي أوائل تسعينيات القرن العشرين، اكتُشِفَت أفضل مادة محفوظة في ترانسلفانيا، وهي منطقة في رومانيا. مع هذا، حثَّ تحليل تاريخ تطوُّر السلالات على إرسال بعثات لإعادة دراسة هذه الاكتشافات، وأثبتت دراسة حديثة أن هذه الديناصورات لم تكن أحد الأقارب المقرَّبة للإجواندون، وإنما كانت تمثِّل أحد الأعضاء المتبقية من مجموعةٍ من الأورنيثوبودات الأكثر بدائيةً. سُمِّي هذا الديناصور باسم جديد تمامًا؛ زالموكسيز. إذن، فإن إحدى نتائج التحليل المبدئي كانت الحصولَ على كَمٍّ كبير من المعلومات الجديدة حول ديناصور قديم، لكنه على ما يبدو لم يكن مفهومًا جيدًا.

أشار تقريرٌ نُشِر في خمسينيات القرن العشرين إلى أن ديناصورًا، قريبَ الشبه للغاية بالإجواندون، قد عاش في منغوليا خلال أوائل العصر الطباشيري. كان لا بد من خضوع هذا التقرير المثير أيضًا لمزيدٍ من الدراسة من أجل معرفة ما إذا كان نطاقُ وجوده الجغرافي الغريب — في آسيا خلال أوائل العصر الطباشيري — حقيقيًّا أم لا، تمامًا كما حدث في حالة المثال الروماني، الذي كان حالةً أخرى من أخطاء تحديد الهوِيَّة. لقد كانت هذه المادة — على الرغم من كونها متجزِّئةً — محفوظةً في متحف الحفريات الروسي في موسكو، وكان لا بد من إعادة فحصها؛ ومرةً أخرى، ما ظهر كان غيرَ متوقَّع؛ ففي هذه المرة تأكَّدَتْ صحةُ التقارير الأقدم، فقد بَدَا أن نوع الإجواندون

نفسه كان موجودًا في منغوليا في أوائل العصر الطباشيري، وكانت الأجزاءُ المكتشَفة تنتمي للإجواندون الأوروبي الشهير، لكن تعذَّرَ التعرُّف عليها.

لم يتلاءم الاكتشاف الثاني على الإطلاق بسهولةٍ مع الفرضية التطورية والجغرافية التي نشأت في تحليل عام ١٩٨٤. في الواقع ظهرت في السنوات الأخيرة مجموعةٌ مثيرة جدًّا للاهتمام من الأورنيثوبودات تشبه الإجواندون في آسيا وأمريكا الشمالية، فيما يمكن وصفه على أفضل نحو بـ «منتصف» العصر الطباشيري. يشير معظم هذه الأدلة الحديثة للغاية — التي تتراكم طوال الوقت — إلى أن النموذج التطوُّري والجغرافي الأصلي احتوى على عدد من الأخطاء الأساسية التي استطاع البحثُ المستمر والاكتشافاتُ الحديثة الكشفَ عنها.

الديناصورات من منظور عالمي

في الفترة الأخيرة طُبِّق هذا الأسلوب على نطاق أوسع وبطريقة أكثر طموحًا؛ فقد تمنَّى بول أبتشيرش بكلية لندن الجامعية وكريج هَن بجامعة كامبريدج فحْصَ شجرةِ عائلة الديناصورات بالكامل، من أجل العثور على أدلةٍ تُثبِت وجودَ أوجه تشابُهٍ في أنماط حدود الطبقات الصخرية وأنماط تصنيف السلالات، عن طريق فحْصِ أعداد ضخمة من الديناصورات. قُورِنت هذه الأنماط بالتوزيعات المعترَف بها حاليًّا للقارات في فترات زمنية خلال حقبة الحياة الوسطى بأكملها، وقد أُجرِيت محاولةٌ لمعرفة إن كانت قد ظهرَتْ بالفعل إشارةٌ عامة تشير إلى تأثير الحركة التكتونية في تاريخ تطوُّر كل الديناصورات.

على الرغم من «الضوضاء» الحتمية في النظام، التي ترجع في الأساس إلى عدم اكتمال السجل الحفري للديناصورات، فمن المشجِّع أن نشير إلى ظهور أنماط متزامنة ذات أهمية إحصائية في فترات متقطعة، شملت منتصف العصر الجوراسي وأواخره وأوائل العصر الطباشيري. يشير هذا إلى أن الأحداث التكتونية — كما توقَّعنا — تلعب دورًا ما في تحديد مكان ووقت ازدهار مجموعات معينة من الديناصورات. بالإضافة إلى ذلك، فإن هذا التأثير قد حُفِظ أيضًا في التوزيعات الجغرافية وفي طبقات الصخور لحفريات تخصُّ كائنات أخرى؛ ومن ثَمَّ فإن تاريخ تطوُّر مساحات واسعة من الكائنات قد تأثَّرَ بالأحداث التكتونية، ولا يزال أثرُ هذا باقيًا معنا حتى يومنا هذا. وهذا الأمر ليس جديدًا إلى حدٍّ ما؛ فكل ما أحتاج إليه هو الإشارة إلى التوزيع الغريب للثدييات الجرابية (الموجودة حاليًّا فقط في الأمريكتين وأستراليا)، وإلى حقيقة تمتُّع الأماكن المنفصلة في

عالمنا الحديث بحيواناتها ونباتاتها المميزة الخاصة. إن ما يشير إليه هذا البحث الجديد هو أننا ربما نتمكَّن من تعقُّب الأسباب التاريخية لمثل هذه التوزيعات، بدقةٍ أكبر من التي كنَّا نعتقد أنها ممكنة.

الفصل الخامس

الديناصورات والدم الحار

جذب عدد من مجالات البحث المتعلقة بالديناصورات النظرَ إلى ما يتجاوز نطاقَ الاهتمام الأكاديمي البحت بهذه الكائنات. ويبدو أن هذا الاهتمام العام ينشأ نتيجةَ استحواذ الديناصورات على الخيال العام بطريقة لم تتوافر إلا لعدد قليل من موضوعات البحث الأخرى؛ لذا، تركِّز الفصول التالية على هذه الموضوعات من أجل توضيح التنوُّع الاستثنائي في الأساليب، وأنواع المعلومات المستخدَمة في محاولاتنا لكشف الغموض المحيط بالديناصورات وتكوينها الحيوي.

هل الديناصورات من ذوات الدم الحار أم البارد أم الفاتر؟

كما رأينا في الفصل الأول، فإن ريتشارد أوين — في وقت اختراعه لكلمة «ديناصور» — صاغ نظريةً عن التكوين الفسيولوجي للديناصورات، ويمكن أن نستخلص هذا المعنى من عبارته الأخيرة المسهبة في تقريره العلمي:

> يمكن أن نخلص من ذلك إلى أن الديناصورات تتمتَّع بقدر فائق من التكيُّف مع الحياة على وجه الأرض ... وهو ما يقترب مما تتميَّز به حاليًّا الفقارياتُ ذوات الدم الحار [أي الثدييات والطيور الموجودة حاليًّا].
>
> (أوين ١٨٤٦)

على الرغم من أن نماذج إعادة تجميع الديناصورات «الشبيهة بالثدييات»، التي أعدَّها أوين للعرض في حديقة القصر البلوري، تعكس مشاعرَه بوضوح، فإن الدلالات

الحيوية التي كان يشير إليها لم يدركها قطُّ أيٌّ من العامِلين الآخَرين في هذا الوقت. بطريقةٍ ما، خفَّفَ من حدة أسلوب أوين المثالي المنطقُ الأرسطي العقلاني؛ فقد كانت الديناصورات تشبه الزواحف في تكوين جسمها، ولهذا لديها جلد مغطًّى بالحراشف وتضع بيضًا له قشرة قاسية، وكانت — مثل كل الزواحف الأخرى المعروفة — ذات «دم بارد» (خارجية التنظيم الحراري).

تمامًا مثل أوين، أشار توماس هكسلي — بعد ٥٠ عامًا تقريبًا — إلى ضرورة النظر إلى الطيور والديناصورات باعتبارهما أقاربَ مقرَّبة؛ نظرًا لأوجه التشابُه التشريحية التي يمكن إثباتها بين الطيورِ الموجودة حاليًّا، وأقدمِ حفريتين معروفتين لطائر الأركيوبتركس والثيروبود الصغير المكتشَف حديثًا؛ الكومبسوجناثز. واستنتج أن:

> ... ليس من الصعب قطعًا تخيُّل وجود كائن وسيط قائم بذاته بين الدرميس [طائر الإيمو] والكومبسوجناثز [ديناصور] ... كما لا يصعب تخيُّل فرضية أن ... فئة «الطيور» تمتدُّ أصولُها إلى الديناصورات الزاحفة ...
>
> (هكسلي ١٨٦٨)

إذا كان هكسلي محقًّا فيما ذهب إليه، فمن الممكن طرح السؤال التالي: هل كانت الديناصورات في الأصل زواحف (من الناحية الفسيولوجية)، أم كانت أقرب إلى الطيور ذات «الدم الحار» (الثابتة الحرارة)؟ يبدو أنه ما من طريقة واضحة للإجابة عن مثل هذه الأسئلة.

على الرغم من هذه «الإسهامات» الفكرية، مرَّ ما يقرب من قرن على بحث هكسلي، قبل أن يبدأ علماءُ الحفريات في البحث بعزمٍ أكبر عن بيانات ربما تكون لها صلة بهذا السؤال المحوري. وجد الحافزُ لتجديد الاهتمام بهذا الموضوع صدًى له في تبنِّي البرنامج الأكثر اتساعًا وتكامُلًا لتفسير السجل الحفري؛ المتمثِّل في ظهور «علم الدراسة الحيوية للحفريات»، كما أوضحنا في الفصل الثاني. رأينا في ذلك الفصل كيف عمل روبرت باكر على ربط بعض الملاحظات الواسعة النطاق ببعضها، لتعليل ثبات الحرارة لدى الديناصورات. لنعرضِ الآنَ هذه الملاحظات وغيرها من الحجج بمزيدٍ من التفصيل.

مناهج جديدة: الديناصورات ممثِّلة للمناخ

ظهرت محاولات لدراسة إلى أيِّ مدًى يمكن استخدام الحفريات في إعادة تكوين صورة عن المناخ في العالم القديم. من المعترف به على نطاق واسع أن الكائنات ذات درجة الحرارة الثابتة (الثدييات والطيور في الأساس) لا تمثِّل إلى حدٍّ كبير مؤشرات جيدة للمناخ؛ نظرًا لوجودها في كل مكان، من المناطق الاستوائية إلى المناطق القطبية؛ فتكوينها الفسيولوجي ذو درجة الحرارة الثابتة (واستخدامها الماهر للعزل في أجسامها) سمح لها بالتصرُّف على نحوٍ مستقلٍّ إلى حدٍّ ما عن الظروف المناخية السائدة. وفي المقابل، تعتمد الكائنات ذات التنظيم الحراري الخارجي، مثل السحالي والثعابين والتماسيح، على الظروف المناخية المحيطة؛ ونتيجةً لهذا تميل إلى الوجود بصفة أساسية في المناطق المناخية الأكثر دفئًا.

ثبتَتْ جدوى استخدام هذا المنهج في دراسة التوزيع الجغرافي لذوات الدم البارد وذوات الدم الحار الواضحة في السجل الحفري، لكنه طرح العديد من الأسئلة المثيرة؛ على سبيل المثال: ماذا عن الأسلاف المباشِرة في سلسلة تطوُّر الثدييات ذوات الدم الحار في العصرين البرمي والترياسي؟ هل استطاعت أيضًا التحكُّم في درجات الحرارة الداخلية لأجسامها؟ إنْ حدث هذا، فكيف أثَّر هذا في توزيعها الجغرافي؟ والأكثر أهميةً في هذا السياق أن الانتشار الجغرافي للديناصورات بَدَا واسع النطاق، إذن هل يعني هذا أنها استطاعت التحكم في درجة حرارة جسمها مثل ذوات الدم الحار؟

أنماط في السجل الحفري

كان أساس منهج باكر في التعامل مع الثبات الحراري لدى الديناصورات، هو النمط الموجود في تعاقُب أنواع الحيوانات في أوائل حقبة الحياة الوسطى؛ ففي أثناء فترة نهاية العصر الترياسي، كانت زواحف السينابسيدا أكثر الحيوانات وفرةً وتنوُّعًا على سطح الأرض.

في نهاية العصر الترياسي وبداية العصر الجوراسي (منذ ٢٠٥ ملايين سنة)، ظهرت أولى الثدييات على الإطلاق على سطح الأرض، وكانت في صورة كائنات صغيرة تشبه الزبابات (حيوانات ثديية تشبه السنجاب). وعلى النقيض تمامًا، شهد الجزء الثاني من العصر الترياسي أيضًا ظهورَ الديناصورات الأولى (منذ ٢٢٥ مليون سنة). وطوال الفترة

الفاصلة بين العصرين الترياسي والجوراسي، أصبحت الديناصورات منتشرةً وشديدةَ التنوُّع، ومن الواضح أنها كانت الأعضاء المهيمنة بين الحيوانات الأرضية. إن هذا التوازُنَ البيئي — من ثدييات نادرة وصغيرة وباحتمال كبير ليلية، وثدييات وفيرة وضخمة وفي تنوُّع متزايد — استمرَّ طوال المائة والستين مليون سنة التالية، حتى نهاية العصر الطباشيري (منذ ٦٥ مليون سنة).

بوصفنا من الكائنات التي تعيش في عصرنا الحالي، فإننا نرتاح إلى فكرة أن الثدييات — والطيور — هي أكثر الفقاريات التي تعيش على سطح الأرض وضوحًا وتنوُّعًا. من البديهي أن الثدييات كائنات سريعةَ الحركة وذكيةً وذات قدرة عالية على التكيُّف بوجه عام، ويرجع قدرٌ كبير من «نجاحها» في العصر الحالي إلى حالتها الفسيولوجية؛ كارتفاعِ معدل الأيض الأساسي لديها، وهو ما يسمح لها بالحفاظ على درجة حرارة أجسامها مرتفعة وثابتة، والتركيبِ الكيميائيِّ المعقَّد لأجسامها، وأدمغتِها الكبيرة الحجم نسبيًّا، ومن ثَمَّ ارتفاع مستويات النشاط لديها، وحالتها العامة بوصفها من ذوات الدم الحار. في المقابل، نلاحظ بوجه عام أن الزواحف أقلُّ تنوُّعًا بكثيرٍ ومقيَّدةٌ بشدة بالمناخ، ويمكن تفسير هذا إلى حدٍّ كبير بحقيقة انخفاض معدل الأيض لديها كثيرًا، وأنها تعتمد على المصادر الخارجية للحرارة من أجل الحفاظ على دفء أجسامها ومن ثَمَّ تنشط كيميائيًّا، كما أن مستويات نشاطها أقل وأكثر تقطعًا؛ وهو الوضع الذي تكون عليه ذوات الدم البارد.

إن هذه الملحوظات — التي لا ننكر أنها عامة للغاية — تسمح لنا بتقديم توقُّعات يمكن إضافتها إلى السجل الحفري. إذا جرت الأمور كما توقَّعنا، فسيمكننا التنبؤ بأن الظهور الأول للثدييات الحقيقية في الحد الفاصل بين العصرين الترياسي والجوراسي — في عالم كانت ستسيطر عليه الزواحفُ لولا ذلك — حثَّ على الازدهار التطوري السريع للنوع الأول (الثدييات) وتنوُّعه على حساب النوع الثاني (الزواحف)؛ لذا، كان من المتوقَّع أن يُظهِر السجلُّ الحفري للثدييات زيادةً سريعة في وفرتها وتنوُّعها في أوائل العصر الجوراسي، حتى هيمنت بالكامل على النُّظُم البيئية في حقبة الحياة الوسطى. لكن، السجل الحفري يُظهِر نمطًا مناقِضًا تمامًا لهذا؛ فقد وصلت الديناصورات — الزاحفة — إلى السيادة في أواخر العصر الترياسي (منذ ٢٢٠ مليون سنة)، ولم تبدأ زيادةُ الثدييات في الحجم والتنوُّع إلا عقب انقراض الديناصورات في نهاية العصر الطباشيري (منذ ٦٥ مليون سنة).

كان تفسير باكر لمجموعة الأحداث المناقضة للمنطق هذه، أن الديناصورات لم تكن لتستطيع النجاح — تطوُّريًّا — أمام الثدييات الحقيقة، إنْ لم تكن تتمتَّع هي الأخرى بمعدلات أيض أساسية عالية تشبه ذوات الدم الحار، واستطاعت أن تكون نشيطةً وواسعةَ الحيلة تمامًا مثل الثدييات المعاصرة. لقد كان من الحقائق البديهية لدى باكر، أن الديناصورات ببساطة «لا بد» أنها كانت من ذوات الدم الحار النشيطة. وفي حين كان النمط الظاهر في السجل الحفري واضحًا بالفعل، كان لا بد من جمع الأدلة العلمية الضرورية لدعم «حقيقته» وفحصها.

الأرجل والرأس والقلب والرئتان

تضع الديناصورات أقدامها عموديًّا تحت أجسامها في وضع مستقيم؛ فتشبه أرجلُها الأعمدةَ. الكائنات الحية الوحيدة التي تتخذ أيضًا هذه الوضعية هي الطيور والثدييات؛ فكل الكائنات الأخرى «تبسط أقدامها» بحيث تخرج أقدامُها من جانبَيِ الجسم. كانت ديناصورات كثيرة أيضًا نحيفةَ الأطراف وتتناسب بنيتُها بوضوح مع الحركة السريعة؛ تعكس هذه الحجج حقيقةَ أن الطبيعة لا تميل إلى فعل أشياء دون الحاجة إليها، فإذا اتضح من بنية حيوانٍ ما أن باستطاعته الركض سريعًا، فإنه على الأرجح كان يفعل هذا؛ ومن ثَمَّ يبدو من المنطقي أن نتوقَّع تمتُّع هذا الكائن بـ «محرك» نشيط — أو بتكوين فسيولوجي ثابت الحرارة — ليسمح له بالحركة السريعة. ومع هذا لا بد لنا من التأنِّي والحذر؛ لأن ذوات الدم البارد باستطاعتها أيضًا التحرُّك بسرعة كبيرة في الحقيقة، فقد تفوق سرعةُ التماسيح وتنانين كومودو البشرَ غير المنتبهين، ومن ثَمَّ تستطيع الانقضاضَ عليهم! النقطة الفاصلة أن التماسيح وتنانين كومودو لا تستطيع تحمُّلَ الجري السريع؛ إذ تفتقر عضلاتها إلى الأكسجين بسرعة كبيرة، وتحتاج هذه الحيوانات إلى الراحة حتى تستطيع عضلاتُها التعافيَ. في المقابل، تستطيع ذوات الدم الحار التحرُّكَ بسرعة لفترات أطول بكثير؛ لأن نظام ضغط الدم المرتفع ورئاتها الفعَّالة يعيدان تزويدَ عضلاتها بالأكسجين بسرعة كبيرة.

كتنقيح إضافي لهذا النقاش يأتي اقتراحُ أن القدرة على السير على قدمين ترتبط حصريًّا بثباتِ درجةِ الحرارة؛ فثدييات كثيرة والطيور كلُّها وديناصورات كثيرة، تسير على قدمين. لا ترتبط هذه الحجة بوضعية الكائن فحسب، لكن ترتبط أيضًا بطريقة

الحفاظ عليها؛ فالكائنات التي تسير على قوائمها الأربع تتمتَّع بميزة التوازن الكبير عندما تسير، أما الكائنات التي تسير على قدمين، فهي فطريًّا غيرُ مستقرة، وحتى تسير بنجاحٍ فمن الضروري أن يتوافر لديها نظامٌ متطوِّر من أجهزة الاستشعار التي تراقب الاتزانَ، ونظامٌ سريع لتنسيق الحركة (المخ والجهاز العصبي المركزي)، بالإضافة إلى عضلاتٍ سريعةِ الاستجابة من أجل تصحيحِ التوازُن والحفاظِ عليه.

إن المخ عضو محوري في هذه «المشكلة» الحركية بأكملها، ولا بد أن تتوافر فيه قدرةٌ مستمرة على العمل بسرعة وكفاءة، ويقتضي هذا ضمنيًّا قدرةَ الجسم على توفير إمداد مستمر بالأكسجين والغذاء والحرارة، من أجل السماح لكيمياء المخ بالعمل على النحو الأمثل طوال الوقت؛ فالشرط الأساسي لهذا النوع من التوازن أن يوجد تكوين فسيولوجي «مستمر»، له درجةُ حرارةٍ ثابتة. تُوقِف ذواتُ الدم الحار من وقتٍ لآخر نشاطَها على جميع المستويات عند شعورها بالبرد — على سبيل المثال — وتقلِّل من إمدادات العناصر الغذائية الواصلة إلى المخ، الذي يكون بالتبعية أقلَّ تطوُّرًا وأكثرَ تكامُلًا مع الوظائف العامة للجسم.

يمكن ربط إحدى الملاحظات الأخرى المتعلِّقة بالوضعية، بكفاءةِ عملِ القلب وقدرتِه على تحمُّل مستويات النشاط المرتفعة. تتسم وضعيةُ كثيرٍ من الطيور والثدييات والديناصورات بأنها منتصِبةٌ، بحيث يكون وضْعُ الرأسِ عادةً في مستوًى أعلى على نحوٍ ملحوظ من مستوى وضع القلب؛ وإن لهذا الاختلاف بين مستويَي الرأس والقلب نتائجَ مهمةً على توازن السوائل في الجسم؛ فنظرًا لأن الرأس أعلى من القلب، فلا بد أن تكون لدى القلب القدرةُ على ضخِّ الدم بضغطٍ مرتفعٍ «لأعلى» صوبَ المخ. لكن الدم الذي يُضَخُّ في الوقت نفسه من القلب مع كل نبضة من نبضاته إلى الرئتين، لا بد أن يتحرَّك بضغط منخفض، وإلا سيؤدي إلى انفجار الشعيرات الدموية الدقيقة المبطِّنة للرئتين. للسماح بهذا التفاوُت في الضغط، ينقسم قلبُ الثدييات والطيور إلى نصفَيْن، بحيث يمكن للجانب الأيسر من القلب (الدورة الجهازية، أو دورة الرأس والجسم) العملُ بضغطٍ أعلى من الجانب الأيمن (الدورة الرئوية، أو دورة الرئتين).

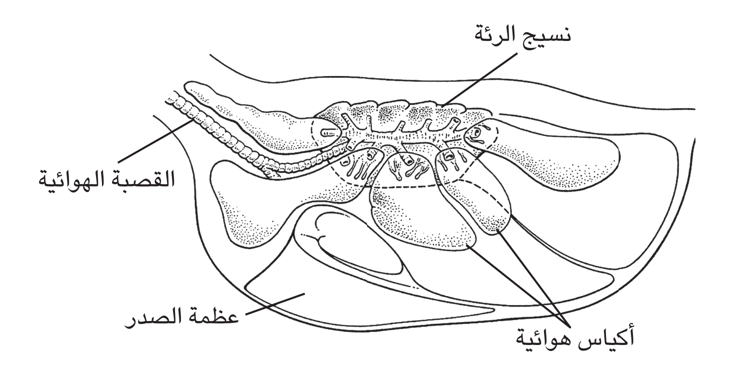
يوجد رأس كل الزواحف التي تعيش حاليًّا في نفس مستوى قلبها تقريبًا؛ لذا، فإن قلوبها ليست مقسومةً إلى نصفين مثل قلوب الثدييات والطيور؛ نظرًا لعدم وجود حاجة إلى التمييز بين الدورتين الجهازية والرئوية. ومن المثير للاهتمام أن قلب الزواحف ودورتها الدموية يمدَّانِها ببعض المميزات؛ فهي تستطيع نقلَ الدم في جميع أجزاء الجسم

بطريقةٍ لا تتوافر لدى الثدييات؛ على سبيل المثال: تقضي ذواتُ الدم البارد كثيرًا من الوقت في الاستلقاء تحت أشعة الشمس من أجل تدفئة أجسامها، وفي أثناء استلقائها في الشمس تفضِّل نقلَ الدم إلى الجلد، حيث يمكن استخدامه في امتصاص الحرارة (مثل الماء الموجود في أنابيب التدفئة المركزية في لوحات الطاقة الشمسية). أكبر عيب في هذا النظام هو أن الدم لا يمكن أن يتحرَّك تحت الضغط المرتفع — وهي سمة أساسية لدى أي حيوان يتصرَّف بنشاط كبير، ولا بد له من توصيل الغذاء والأكسجين إلى عضلاته التي تبذل مجهودًا كبيرًا.

نستخلص من كل هذه الآراء أن الديناصورات — نظرًا لشكل وقفتها — كان نظامُ الدورة الدموية لديها عاليَ الضغط؛ مما يتلاءم مع مستويات نشاطها المرتفعة والمستمرة التي توجد فقط لدى ذوات الدم الحار الموجودة حاليًّا. وهذه المجموعة من الآراء الأشمل والأكثر تفصيلًا تدعم على نحوٍ مدوٍّ تخمينَ ريتشارد أوين المثير.

إنَّ إمداد العضلات بقدرٍ كافٍ من الأكسجين يرتبط بالتأكيد ارتباطًا وثيقًا بكفاءة عمل القلب والجهاز الدوري؛ من أجل السماح بمستويات مرتفعة من النشاط الهوائي. توجد لدى بعض مجموعات الديناصورات، خاصةً الثيروبودات والصوروبوديات العملاقة، إشاراتٌ تشريحية مثيرة تتعلَّق بتكوين الرئة وعملها؛ ففي هاتين المجموعتين من سحليات الورك (لكن ليس في طيريات الورك)، توجد آثارٌ لأكياس أو تجويفات مميَّزة (تُسمَّى الفتحات الجنبية) على جانبَيْ فقرات العمود الفقري. إن هذه السمة في حد ذاتها ربما لم تكن تلقَى اهتمامًا خاصًّا، إلا أن الطيور التي تعيش حاليًّا قد ظهرت عليها سماتٌ مشابهة تعادِل وجودَ أكياس هوائية شاملة؛ فالأكياس الهوائية هي جزء من آليةٍ تشبه المنفاخَ تسمح للطيور بالتنفس بكفاءة عالية. وثمة احتمال كبير أن سحليات الورك كانت لديها رئتان تشبهان رئتَي الطيور؛ ومن ثمَّ كانتا فعَّالتين للغاية.

تدعم هذه الملاحظة بالتأكيد ادِّعاءَ أن بعض الديناصورات (الثيروبودات والصوروبوديات) كانت لديه القدرةُ على المحافظة على مستويات مرتفعة من النشاط الهوائي، إلا أنها تؤكِّد أيضًا حقيقةَ أنه لا يمكن افتراض أن كلَّ الديناصورات (سحليَّات الورك وطيريَّات الورك) متشابهةٌ في كل جوانب تكوينها الفسيولوجي؛ لأن طيريَّات الورك لا تظهر عليها أيُّ آثار لنظام الأكياس الهوائية.



شكل ٥-١: توفِّر الأكياسُ الهوائية لدى الطيور جهازَ تنفُّسٍ عاليَ الكفاءة.

«تعقُّد» تكوين الديناصورات وحجم أدمغتها

بالرغم من أن الحجة التالية لا تنطبق على كل الديناصورات، فإنها تقدِّم معلوماتٍ مفيدةً من خلال إظهارها ما كانت «بعض» الديناصورات تستطيع فعله، والمثال التقليدي على هذا درومايوصور جون أوستروم المذكور من قبلُ؛ داينونيكس (الشكل ٤-٢). كما ذكرنا بإيجاز في الفصل الثاني، فقد كان هذا الديناصور مفترسًا كبيرَ العينين، ومن الواضح أنه كان قادرًا على الركض بسرعة؛ وهذا بناءً على أبعاد أطرافه وبنيته العامة. بالإضافة إلى هذا، كان لديه ذيلٌ مميَّز قوي ورفيع، وأصابعُ داخلية استثنائية في قدمَيْه الخلفيتين تشبه الخُطَّاف، وذراعان طويلتان بهما مخالب حادَّة من أجل الإمساك بالأشياء. ومن المنطقي افتراضُ أن هذا الحيوان كان مفترِسًا مطارِدًا، وكانت لديه القدرةُ على استخدام ذيله الرفيع كأداةٍ مساعِدةٍ في حفْظِ توازنه أثناء الحركة (تحريك الذيل في أحد الجانبين يسمح لهذا الحيوان بتغيير اتجاهه بسرعة كبيرة)، وثمة احتمال كبير بأنه كان يقفز على فريسته، التي كان يشلُّ حركتَها بعد ذلك باستخدام المخالب الموجودة في قدميه. لم نرَ قطُّ هذا السلوك من الداينونيكس في الواقع، لكنَّ هذا السيناريو يعتمد على السمات الملحوظة في هيكله العظمي، وتدعمها جزئيًّا حفريةٌ مميزة اكتُشِفت في منغوليا.

تضم هذه الحفرية ديناصورَيْن: ديناصور كيراتوبسي صغير آكل للعشب يُدعَى بروتوسيراتوبس، وديناصور قريب الصلة بالداينونيكس يُدعَى فيلوسيرابتور. تُظهِر

هذه الحفرية الاستثنائية أن هذين الديناصورين قد هلكا في قتال مميت؛ وربما ماتا إثر اختناقهما بسبب عاصفة ترابية في أثناء قتالهما معًا؛ فقد تحجَّرَ الفيلوسيرابتور وهو ممسك برأس فريسته باستخدام ذراعَيْه الطويلتين، وفي أثناء توجيه ركلة لعنق ضحيته السيئة الحظ.

يشير مثل هذا «التعقيد» العام في التكوينِ والوظيفةِ المستنتَجة وأسلوبِ الحياة، إلى مستويات من النشاط أكثر شبهًا بتلك التي نجدها عند ذوات الدم الحار في العصر الحديث.

وبالاتفاق مع بعض الحُجج التي ظهرت في النقاش المتعلِّق بقدرة الديناصورات على التحرُّك على قدمَيْن، فإن أدمغة كلٍّ من الثدييات والطيور كبيرةٌ للغاية، وتُظهِر كلتا المجموعتين ما يبدو أنه سلوك ذكي. في المقابل، تمتلك الزواحف ذات الدم البارد أدمغةً أصغرَ حجمًا، ولا تشتَهر عادةً ببراعتها الفكرية (على الرغم من أن هذا وَهْمٌ إلى حدٍّ ما ساهمنا في نشره). لكن، يبدو أن ثمة صلةً عامةً بين الحجمِ العام للدماغ، وثباتِ درجة الحرارة في الجسم؛ فالأدمغةُ الكبيرة تكويناتٌ شديدة التعقيد تحتاج إلى إمدادات متواصِلة من الأكسجين والغذاء، بالإضافة إلى درجة حرارة مستقرة من أجل العمل بكفاءة. ومن الواضح أن الزواحف ذات الدم البارد تستطيع إمدادَ أدمغتها بكلٍّ من الغذاء والأكسجين بفاعلية، لكن درجة حرارة أجسامها تتفاوت على مدار دورة طبيعية كلَّ ٢٤ ساعة؛ ونتيجةً لهذا لا تستطيع توفيرَ احتياجات الدماغ الكبير والمعقَّد.

من المتعارف عليه أن الديناصورات تشتهر بافتقارها إلى القوة العقلية (يُستشهَد دومًا بمخِّ الستيجوصور الذي لا يزيد حجمُه عن حجم حبة جوز كمثال تقليدي)؛ إلا أن جيم هوبسون من جامعة شيكاجو فعل الكثيرَ من أجل تصحيح وجهة النظر الخاطئة هذه، وبمقارنة نسبة حجم الدماغ إلى حجم الجسم في عددٍ من الحيوانات — منها الديناصورات — استطاع هوبسون إثباتَ أن معظم الديناصورات كانت أدمغتُها بوجهٍ عامٍّ تشبه في حجمها إلى حدٍّ ما أدمغة الزواحف. مع هذا، كان بعضها وفيرَ الحظ على غير المتوقَّع في «جزء الدماغ»؛ لذا ربما من غير المفاجئ أن تكون هذه الديناصوراتُ ثيروبوداتٍ عاليةَ النشاط تسير على قدمَيْن.

التوزيع العَرضي

ذكرنا في جزء سابق من هذا الفصل أن رسمَ مخططٍ لبيانات توزيع الديناصورات كان أحد الدوافع وراء تعقُّب حالتها الفسيولوجية. ومؤخرًا، أظهرتِ التقاريرُ وجودَ أعداد من الديناصورات في منطقة يوكون في أمريكا الشمالية وفي أستراليا والقارة القطبية الجنوبية؛ كانت هذه المناطق تقع داخل نطاق المناطق القطبية الخاصة بكلٍّ منها في العصر الطباشيري، واستُخدِمت من أجل تدعيم فكرة أن الديناصورات كانت بالضرورة من ذوات الدم الحار حتى تستطيع البقاءَ على قيد الحياة. ومن الواضح في نهاية الأمر أن الفقاريات الأرضية من ذوات الدم البارد في عصرنا الحالي، غيرُ قادرةٍ على الحياة في دوائر العرض المرتفعة هذه.

لكن، بعد تفكير متأنٍّ، لا تكون هذه الملاحظات مقنعةً كما تبدو من الوهلة الأولى؛ فتشير الأدلة المستقاة من السجل الحفري النباتي إلى أن أشكال الحياة النباتية في مناطق البحر المتوسط والمناطق شبه الاستوائية، كانت موجودةً في هذه المناطق القطبية في العصر الطباشيري. على غير المعتاد، تشترك هذه النباتات في عادةِ فقدانِ أوراقها موسميًّا، وربما يكون ذلك استجابةً لمستويات الضوء ودرجة الحرارة المنخفضة في فصل الشتاء. لا تظهر أدلةٌ على وجود صفائح جليدية في العصر الطباشيري، ومن المحتمل فيما يبدو أن درجة الحرارة كانت شديدةَ الاعتدال حتى في دوائر العرض المرتفعة؛ في أثناء فصل الصيف على الأقل. وفي ظل هذه الظروف، من المرجَّح للغاية أن الديناصورات الآكلة للعشب كانت تهاجر إلى الشمال أو الجنوب — بناءً على الفصل المناخي — من أجل الاستفادة من المراعي الغنية؛ ونتيجةً لهذا، ربما يعكس العثورُ على بقايا حفرياتها في دوائر عرض مرتفعة للغاية من حقبة الحياة الوسطى نطاقَ هجرتها، ولا يعكس أنها كانت تعيش في المناطق القطبية.

اعتباراتٌ بيئية

كان قياس بنية المجتمع في حقبة الحياة الوسطى أحد أكثر اقتراحات باكر المبتكرة في بحثه عن سُبُلٍ وسيطة يتعرَّف بها على التكوين الفسيولوجي للديناصورات. كانت الفكرة بسيطة على نحو مذهل؛ إذ تحتاج الحيوانات ذوات الدم الحار وذوات الدم البارد إلى كميات من الطعام لتظلَّ على قيد الحياة، وتعكس تلك الكمياتُ «النفقاتِ الجاريةَ»

الأساسيةَ المرتبطةَ بكون الكائن من ذوات الدم الحار أو البارد. تكون النفقاتُ الجارية لدى ذوات الدم الحار — مثل الثدييات والطيور — أعلى؛ لأن معظم ما تتناوله من طعام (أكثر من ٨٠٪) يتعرَّض للحرق لإنتاج حرارة الجسم. وفي المقابل، تحتاج ذوات الدم البارد إلى طعام أقل؛ لأنها تستخدم كمًّا قليلًا للغاية في توليد حرارة الجسم. وكمؤشر تقريبي، تحتاج ذوات الدم البارد نحو ١٠٪ — وأحيانًا أقل بكثير — من الاحتياجات الغذائية لذوات الدم الحار من نفس الحجم.

بناءً على هذه الملاحظة، وعلى أساس فَهْم أن التدبير العام للطبيعة يميل إلى إحداث توازُنٍ إلى حدٍّ ما بين العرض والطلب، اقترح باكر أن المجموعات الحفرية ربما تشير إلى وجود توازن بين المفترس والفريسة، وهو ما يشير ضمنيًّا إلى توازن في التكوين الفسيولوجي لهذه الحيوانات. بحث باكر جيدًا في المجموعات الموجودة في المتحف، ليجمع البيانات التي يحتاجها؛ وضمَّ هذا بياناتٍ من مجموعات الزواحف القديمة (حقبة الحياة القديمة)، والديناصورات (حقبة الحياة الوسطى)، والثدييات الحديثة نسبيًّا (حقبة الحياة الحديثة). بَدَتْ نتائجُه مشجِّعةً؛ فقد أشارت مجموعاتُ الزواحف من حقبة الحياة القديمة إلى مساواةٍ تقريبيةٍ بين أعداد المفترسات والفرائس، وفي المقابل أشارَتْ مجموعات الديناصورات والثدييات من حقبة الحياة الحديثة إلى كثرة عدد الفرائس، مقارَنةً بعدد المفترسات القليل للغاية.

في البداية، انبهر المجتمع العلمي بهذه النتائج، لكنْ يوجد حاليًّا شكٌّ كبير حول أهمية البيانات الأصلية؛ فإن استخدام المجموعات الموجودة في المتحف في تقدير أعداد المفترسات أو الفرائس، هو إجراء غير جدير بالثقة إلى حدٍّ كبير؛ فلا يوجد دليلٌ على أن الحيوانات التي أحصاها عاشَتْ معًا في المقام الأول، كما توجد تحيُّزات هائلة فيما يتعلق بالأشياء التي جُمِعت (أو التي لم تُجمَع) في هذا الوقت، كما ظهرت كل أنواع الافتراضات بشأن ما يتناوله المفترس أو لا يتناوله، وحتى في حال وجود إشارة حيوية من نوع ما، فإنها تنطبق بالتأكيد على المفترس فقط. بالإضافة إلى هذا، فإن الأبحاث التي أُجريت على المجتمعات الموجودة حاليًّا من المفترسات ذات الدم البارد وفرائسها، أوضحت أن عدد المفترسات ربما يقل بنسبة ١٠٪ عن أعداد فرائسها المحتملة، وهذا يحاكي النِّسَب التي ظهرت في مجموعات ذوات الدم الحار المزعومة لباكر.

إن هذا مثال رائع على فكرة ذكية لا يمكن للأسف تدعيمها؛ لأن البيانات ببساطةٍ لن تؤدِّي إلى نتائج ذات مغزًى علمي بأي حال من الأحوال.

دراسة أنسجة العظام

وُجِّه اهتمام كبير نحو فهم التفاصيل الدقيقة للتكوين الداخلي لعظام الديناصورات. لم يتأثَّر تكوين المعادن في عظام الديناصورات عمومًا بعملية التحجُّر؛ ونتيجةً لهذا، يمكن دومًا أخذ مقاطع رفيعة من العظام، توضِّح تكوينَ العظامِ الداخليَّ (تكوين الأنسجة) بتفاصيل مذهلة. هذا، وقد أشارت الملاحظات المبدئية إلى أن عظام الديناصورات كانت قريبةَ الشبه في تكوينها الداخلي بعظام الثدييات ذات الدم الحار الموجودة حاليًّا، أكثر من عظام الكائنات ذات الدم البارد الحديثة.

بوجهٍ عام، أظهرت عظامُ الثدييات والديناصورات مستوياتٍ مرتفعةً من تكوين الأوعية الدموية (فقد كانت مَساميَّة للغاية)، بينما تفتقر عظامُ ذوات الدم البارد إلى الأوعية الدموية. يمكن أن ينشأ تكوينُ العظام المليئة بالأوعية الدموية بعدة طرق؛ فعلى سبيل المثال: يشهد أحد نماذج تكوين الأوعية الدموية (سرطان الخلية الكبدية الليفي الصفاحي) مراحلَ شديدةَ السرعة من نموِّ العظام، في حين يمثِّل نموذجٌ آخَر (النفق الهافيرسي) إحدى مراحل تقوية العظام، عن طريق إعادة التشكيل التي تحدث في وقت لاحق من حياة الكائن.

ما يمكن أن يُقال في هذا السياق أن كثيرًا من بقايا الديناصورات يقدِّم أدلةً على أنها كانت تستطيع النموَّ بسرعة، وتستطيع تقويةَ عظامها عن طريق عملية إعادة تشكيلٍ داخلية. يتعرَّض نمطُ نموِّ الديناصورات أحيانًا إلى تقطُّع دوري (يحاكي النموذجَ المتقطِّع الموجود في عظام الزواحف الموجودة حاليًّا)، لكن لا شكَّ أن أسلوب النمو هذا منتظم. بالمثل — لكن باحتمال أقل — يظهر لدى بعض ذوات الدم الحار (الطيور والثدييات) تكوينٌ عظمي (موضعي)، به عدد قليل للغاية من الأوعية الدموية، في حين قد يظهر لدى ذوات الدم البارد، التي تعيش حاليًّا، تكوينٌ عظمي مليء بالأوعية الدموية في أجزاء من هياكلها العظمية. ومن المثير للدهشة عدمُ وجود علاقات واضحة بين التكوين الفسيولوجي للحيوان والتكوين الداخلي لعظامه.

نظرة عامة على التكوين الفسيولوجي للديناصورات

يوضِّح النقاش السابق الكمَّ الكبير والمتنوِّع في المناهج المستخدَمة في محاولة دراسة عملية الأيض لدى الديناصورات.

كان موقف روبرت باكر هو التصديق المطلق عند تقييمه لأهمية إحلال الديناصورات محلَّ الثدييات على الأرض، في أوائل العصر الجوراسي؛ فقال إن هذا النموذج يمكن تفسيرُه فقط إذا كانت الديناصورات لديها القدرةُ على منافسة نموذجه عن الثدييات «العليا» ذات الدم الحار؛ ومن أجل فعل هذا كان عليها ببساطة أن تكون من ذوات الدم الحار. هل هذا صحيح؟ الإجابة فعليًّا: لا … ليس بالضرورة.

في نهاية العصر الترياسي وبداية العصر الجوراسي، لم يكن من الممكن لنا، نحن البشرَ المنتمين للثدييات، أن نعيش في العالَم آنذاك؛ فقد كان جزء كبير من قارة بانجيا في هذا الوقت متأثِّرًا بالظروف الموسمية — الجافة بوجه عام — حيث أصبحت الصحاري منتشرةً عالميًّا. تمارس مثلُ هذه الظروف، من درجات الحرارة المرتفعة وقلةِ سقوط الأمطار، ضغوطًا انتقائيةً على أيض ذوات الدم الحار وذوات الدم البارد بطرق مختلفة للغاية.

إن ذوات الدم البارد — كما قلنا آنفًا — تحتاج إلى تناوُل طعام أقلَّ مقارَنَةً بذوات الدم الحار؛ ومن ثمَّ لديها قدرةٌ أفضل على البقاء على قيد الحياة في أوقات الإنتاجية الحيوية المنخفضة. فتتمتَّع الزواحف بجلد حرشفي لديه قدرةٌ كبيرة على مقاومة فقدان الماء في الظروف الصحراوية الجافة؛ كذلك فإنها لا تتبوَّل، وإنما بدلًا من ذلك تُخرج مادةً جافة لزجة (تشبه فضلات الطيور). تناسب درجاتُ الحرارة المحيطة المرتفعة ذواتِ الدم البارد جيدًا؛ لأنه من السهل نسبيًّا الحفاظ على الكيمياء الداخلية لأجسامها في درجات الحرارة القصوى. إجمالًا، يمكن توقُّع أن تتعامل ذوات الدم البارد — المتمثِّلة في الزواحف التقليدية — جيدًا مع ظروفٍ مثل الظروف الصحراوية.

تعاني ذوات الدم الحار — مثل الثدييات — من إجهاد فسيولوجي في ظروف ارتفاع درجة الحرارة؛ فالثدييات «مهيَّأة» لتكون قادرةً على فقدان حرارة من أجسامها في البيئة (منظِّم الحرارة في أجسامها يحافظ على درجة حرارتها أعلى في المتوسط من الظروف البيئية العادية)، وتضبط حالتَها الفسيولوجية وفقًا لذلك. في حالة البرد، تستطيع الثديياتُ تقليلَ الحرارة المفقودة من أجسامها، عن طريق رفع فرائها من أجل حبس الهواء وزيادة كفاءة عزل أجسامها، أو استخدام «الارتعاش» لتوليد حرارة إضافية سريعًا في العضلات، أو رفع معدل الأيض الأساسي لديها. لكن، في ظروف ارتفاع درجة الحرارة المحيطة، يصبح فقدان الحرارة في البيئة مَطلبًا أساسيًّا لمنع التعرُّض لفرط السخونة المميت. إن التبريد بالتبخير هو أحد الخيارات القليلة المتاحة، ويتحقَّق إما عن

طريق اللُّهاث، وإما عن طريق التعرُّق عبر سطح الجلد؛ تزيل هاتان العمليتان كمياتٍ كبيرةً من الماء من الجسم. وفي الظروف الصحراوية، قد يكون فقدان الماء — الموجود بكميات قليلة — مُمِيتًا. وإمعانًا في تعقيد الأمور، تتخلَّص الثدييات من المواد الناتجة عن عملية الأيض من أجسامها عن طريق التبوُّل، الذي يطرح الفضلاتِ خارجَ الجسم في محلول مائي. وبالإضافة إلى مشكلات العبء الحراري وفقدان المياه، تحتاج الثدييات إلى كميات ضخمة من الطعام من أجل الحفاظ على تكوينها الفسيولوجي الثابت الحرارة. والمناطق الصحراوية هي مناطقُ قليلةُ الإنتاجية؛ لذا فإن مخزون الطعام فيها محدودٌ، ولا يقوى على تغذية أعداد هائلة من ذوات الدم الحار.

بالنظر إلى الأمر من هذا المنظور البيئي البحت، ربما نجد أن العالم في أواخر العصر الترياسي وأوائل العصر الجوراسي، كان فريدًا من نوعه؛ ففي هذا الوقت ربما كانت البيئة تحابي ذوات الدم البارد، وقصرت الثدييات الأولى على الأنواع الصغيرة الحجم والليلية في المقام الأول. في الصحاري حاليًّا، تكون جميعُ الثدييات تقريبًا (باستثناء هذه الكائنات الرائعة حقًّا المعروفة بالإبل) آكلاتِ حشرات وقوارضَ ليليةً صغيرةَ الحجم؛ إنها تنجو من الحرارة الشديدة في فترات النهار عن طريق الاختباء في جحور تحت سطح الرمال، حيث الحرارةُ أقلُّ والرطوبةُ أعلى، وتخرج ليلًا بمجرد انخفاض درجة الحرارة، وتستطيع استخدامَ حواسِّها الحادة في العثور على فرائسها من الحشرات.

تحسَّنَ في النهاية الجفافُ الشديد الذي ساد فترةَ أواخر العصر الترياسي وأوائل العصر الجوراسي، مع بدء قارة بانجيا في الانفصال بعضها عن بعض، وانتشارِ البحار الداخلية عبر مساحات من الأراضي وفيما بينها. يبدو أن النظام المناخي العام قد أصبح شديدَ الدفء والرطوبة، وانتشرت هذه الظروفُ المناخية عبر أشرطة عرضية شديدة الاتساع. ولا بد من التأكيد على عدم وجود مناطق قطبية مغطَّاة بالجليد طوال عصر الديناصورات. يبدو نوعُ العالَمِ الذي نعيش فيه حاليًّا غريبًا للغاية، عند مقارنته بقدر كبير من تاريخ الأرض، من حيث احتواؤه على قطبَيْن جنوبي وشمالي يغطِّيهما الجليد؛ ومن ثمَّ تكون الأشرطةُ المناخية العرضية فيه محصورةً في أضيق الحدود على نحو استثنائي. وفي ظل هذه الظروف الخصبة نسبيًّا في العصر الجوراسي، ارتفعَتِ الإنتاجيةُ كثيرًا؛ فقد أُودِعَتْ رواسب الفحم الضخمة في المناطق التي شهدت وجودَ غابات كثيفة ومعمِّرة؛ لذا، ربما يكون من غير المفاجئ اكتشافُ ارتفاع أعداد الديناصورات وأنواعها للغاية خلال العصر الجوراسي.

هل كان التكوين الفسيولوجي للديناصورات مميَّزًا؟

تجدر الإشارة إلى أن الديناصورات كانت كائنات ضخمة؛ فحتى متوسطة الحجم منها كان طولها يتراوح بين ٥ و١٠ أمتار، وهو ما تعتبره معظم المقاييس كبيرًا للغاية؛ فمتوسطُ حجم جميع الثدييات ربما يكون في حجم قطة أو كلب صغير في عصرنا الحالي. والحقيقة الأكيدة هي عدم وجود ديناصورات في حجم الفأر (إلا عند خروجها من البيض).

للحجم الكبير مميزات في بعض الظروف، وأبرز هذه المميزات أن الحيوانات الأكبر حجمًا تميل إلى فقدان الحرارة في البيئة واكتسابها منها على نحوٍ أبطأ بكثير من الحيوانات الصغيرة؛ على سبيل المثال: تحافظ التماسيحُ البالغة على درجة حرارة داخلية مستقرة للغاية طوال النهار والليل، في حين يعكس مدى درجات حرارة الجسم لدى التماسيح التي فقست حديثًا التغيُّراتِ التي تحدث طوال النهار والليل؛ لذا فإن وجود كائن في حجم الديناصور يعني أن درجة حرارة جسمه الداخلية تتغيَّر تغيُّرًا طفيفًا للغاية مع مرور الوقت. يعني كِبر الحجم كذلك أن العضلات المسئولة عن وضعيته لا بد أن تعمل جاهدة على منع الجسم من الانهيار بسبب وزنه. يُنتِج هذا «العمل» العضلي المستمر كمياتٍ كبيرةً من الطاقة (كالحال تمامًا عندما نصبح «محتقنين» بالحرارة بعد ممارسة تمارين عضلية)، ويمكن لهذه الطاقة أن تساعد في الحفاظ على درجة حرارة الجسم الداخلية.

بالإضافة إلى مميزات الحجم هذه، رأينا أن سرعة الحركة المحتملة للديناصورات ووقفتها — كثير منها كانت رءوسها أعلى بكثيرٍ من مستوى صدورها — تشير إلى أنه من المرجح بدرجة كبيرة أن هذه الكائنات قد تمتَّعَتْ بقلب مقسَّم بالكامل عالي الكفاءة، استطاع أن ينقل الأكسجين والطعام والحرارة بسرعة في جميع أنحاء الجسم، بالإضافة إلى إزالة النواتج الثانوية الضارة الناتجة عن عملية الأيض. وحقيقة أن سحليات الورك ربما كان لديها نظامُ تنفُّسٍ يشبه رئة الطيور، تؤكِّد على نحوٍ أكبر قدرتها على توفير الأكسجين الذي كانت أنسجتها بحاجةٍ إليه في أثناء ممارسة الأنشطة الهوائية الفعَّالة.

عند التفكير في هذه العوامل وحدها، يبدو من المحتمل للغاية أن الديناصورات قد تمتَّعَتْ بصفات كثيرة، ترتبط حاليًّا بثبات درجة الحرارة الذي نراه في الثدييات والطيور الموجودة حاليًّا. بالإضافة إلى هذا، كانت الديناصورات إجمالًا ضخمة الحجم؛ ومن ثَمَّ

ثابتة حراريًّا بدرجة نسبية. كذلك عاشت الديناصورات خلال فترة من المناخ العالمي الدافئ وغير الموسمي.

ربما كانت الديناصورات الوريثةُ الأسعدَ حظًّا لنوع مثالي من التكوين الحيوي، الذي مكَّنَها من الازدهار في ظروف مناخية فريدة سادت حقبةَ الحياة الوسطى. لكن على الرغم من مدى إقناع هذه الحُجة في هذه المرحلة، فإنها لا تضع في اعتبارها دليلًا آخَر شديدَ الأهمية ظهر على مدار السنوات القليلة الماضية؛ وهو العلاقات الوثيقة بين الديناصورات والطيور.

الفصل السادس

ماذا لو كانت الديناصورات هي أصل الطيور؟

نتيجةً لعمل جون أوستروم الرائع في سبعينيات القرن العشرين، أصبح حاليًّا الدليلُ التشريحيُّ على وجود علاقة بين الديناصورات والطيور مفصَّلًا للغاية؛ بحيث صار ممكنًا إعادةُ تكوين المراحل التي يمكن أن يتحوَّل خلالها الدرومايوصور الثيروبودي إلى شكلٍ من أشكال الطيور الأولى.

كانت الثيروبودات الأولى الصغيرة الحجم، مثل كومبسوجناثز، تشبه في مظهرها الطيورَ؛ فكانت لديها أرجل طويلة ونحيلة، ورقبة طويلة، ورأس صغير إلى حدٍّ ما، وعينان كبيرتان للغاية تنظران فقط إلى الأمام، هذا على الرغم من احتفاظها الواضح بسمات الديناصورات، مثل الأيدي ذات المخالب والأسنان الموجودة داخل الفك والذيل الطويل الضخم.

الدرومايوصوريات الثيروبودية

يظهر على الديناصورات التي تشبه الطيور عددٌ من التغيُّرات التشريحية المثيرة للاهتمام على المخطط الأساسي لجسم الثيروبود؛ بعض هذه التغيرات واضح للغاية، وبعضها أقل وضوحًا.

كانت إحدى السمات البارزة «قلة سُمْك» الذيل؛ فقد أصبح الذيلُ أقلَّ سُمكًا وتقوِّيه مجموعاتٌ من العظام الطويلة والرفيعة، والجزء المَرِن الوحيد فيه هو القريب من الوركين (الشكل ٢-١، الصورة العليا). وكما أشرنا من قبلُ، فإن هذا الذيل الرفيع الذي يشبه العمود ربما كان مهمًّا حيث عمل كأداة اتزان عند التحرك، من أجل المساعدة في

التقاط الفرائس السريعة الحركة والمراوِغة. مع هذا، فإن الذيل من هذا النوع قد غيَّرَ كثيرًا من وقفة هذه الحيوانات ووضعيتها؛ لأنه لم يَعُدْ دعامةً ثقيلة ومليئة بالعضلات للنصف الأمامي من الجسم. لو لم تحدث تغيُّرات أخرى في وضعية هذا الديناصور، لَكان من الممكن أن يصبح هذا الديناصور كائنًا غيرَ متوازن، ومائلًا طوال الوقت إلى الأمام حتى أنفه.

للتعويض عن فقدان الذيل الثقيل، تغيَّرت أجسامُ هذه الثيروبودات ببراعة؛ فعظمةُ العانة — التي تشير إلى آخِر جزء من الأمعاء، وعادةً ما يكون اتجاهُها إلى الأمام وإلى الأسفل من كل تجويف في وركَيِ الثيروبودات — استدارَتْ إلى الخلف بحيث أصبحَتْ موازيةً لعظم الإسك (عظمة الورك السفلى الأخرى). وبسبب هذا التغيُّر في الاتجاه، يمكن أن تتأرجح الأمعاء والأعضاء المرتبطة بها إلى الخلف لتقع تحت الوركين؛ أدَّى هذا التغيُّر إلى تحويل وزن الجسم إلى الخلف، وعوَّض هذا عن فقدان الذيل الثقيل الذي يساعد في حفظ التوازن. يُرى هذا الترتيب لعظام الورك، مع استدارة عظام العانة إلى الخلف، لدى الطيور الموجودة حاليًّا وحفريات الطيور السابقة، ويُرى أيضًا لدى الدرومايوصوريات الثيروبودية.

ثمة طريقة أخرى على القدر نفسه من التميُّز للتعويض عن فقدان الذيل الموازِن للجسم، وهي تقليص حجم الصدر أمام الوركين، ويُرى هذا أيضًا لدى الثيروبودات الشبيهة بالطيور. يُظهِر الصدر أيضًا علاماتٍ على تصلُّبه، وربما يعكس هذا عاداتِ الافتراس لدى هذه الحيوانات. كان للذراعين الطويلتين واليدين ذواتَي المخالب الثلاثة أهميةٌ في التقاط الفرائس وإخضاعها، وكان لا بد من تمتُّعها بالقوة الشديدة. تعزَّزَتْ بلا شكٍّ منطقةُ الصدر من أجل المساعدة في تثبيت الذراعين والكتفين بإحكام لتتحمَّل القوى الكبيرة المتعلِّقة بالقبض على الفريسة وإخضاعها. تتمتَّع الطيور كذلك بمنطقة صدر قصيرة وصلبة للغاية من أجل تحمُّل القوى المتعلقة بتثبيت عضلات الطيران القوية.

في الجزء الأمامي من الصدر، بين مفاصل الكتفين، توجد عظمة على شكل الرقم ٧ (هي في الواقع عظام الترقوة المندمجة، الشكل ٢-٢) تعمل بمنزلة فاصل يشبه الشريط المطاطي ويفصل بين الكتفين، وقد ساعدت أيضًا في تثبيت الكتفين في مكانهما عندما تتصارع هذه الحيوانات مع فريستها. تحتوي أجسام الطيور أيضًا على عظام الترقوة المندمجة هذه؛ فهي تشكِّل «عظمة ترقوة» طويلة، أو عظمة الفريقة، التي تعمل كشريط مطاطي آلي يفصل بين مفصلَيِ الكتفين عند الخفقان في أثناء الطيران.

تغيَّرت أيضًا المفاصلُ بين عظام الذراع واليد، بحيث يمكن تحريكها نحو الخارج وإلى الأسفل بسرعة وقوة كبيرتين، من أجل توجيه ضربةٍ للفريسة فيما أُطلِق عليه اسم عملية «تمشيط». ويمكن ثَنْيُ الذراعين أمام الجسم عند عدم استخدامهما. كانت قوةُ هذا النظام وفاعليتُه ذواتَيْ نفعٍ كبير أيضًا لهذه الكائنات؛ لأن عضلات الذراع التي تدير هذه الآلية كانت تقع بالقرب من الصدر، وكانت تحرِّك أوتارًا طويلة تمتد على طول الذراع حتى اليد (بدلًا من وجود العضلات بعيدًا على طول الذراع)، وقد حافظ نظام التحكُّم عن بُعْدٍ هذا في إبقاء ثقل الجسم بالقرب من الأرداف، وساعَدَ في تقليل مشكلة التوازن الدقيقة في حالة هذا النوع من الثيروبودات. إنَّ آليةَ الضربِ بالذراع وثَنْيِها تشبه كثيرًا الآليةَ التي تستخدمها الطيورُ في فتح جناحَيْها وغلقهما في أثناء الطيران وبعد الانتهاء منه.

الأركيوبتركس

يظهر في أول حفرية تشبه الطيور أركيوبتركس (الشكل ٢-١، الصورة السفلى)، كثيرٌ من سمات الدرومايوصوريات الثيروبودية؛ فالذيلُ عبارة عن مجموعة من الفقرات الطويلة والرفيعة للغاية تثبِّت ريشَ الذيل على جانبَيْها، وعظامُ الورك مرتَّبةٌ بحيث تتجه عظامُ العانة نحو الخلف ولأسفل، وفي الجزء الأمامي من الصدر توجد عظامُ الفريقة التي تشبه قوسًا خشبية معقوفة، والفكَّان يحتويان على أسنان صغيرة منشارية بدلًا من المنقار القرني التقليدي الذي يشبه منقار الطيور، والذراعان طويلتان ومزوَّدتان بمفاصل بحيث يمكن مدُّهما وثَنْيهما تمامًا مثل الثيروبودات، واليدان مزوَّدتان بثلاث أصابع ذات مخالب حادة وتشبهان تمامًا في ترتيبهما وأبعادهما يدَيِ الدرومايوصوريات الثيروبودية.

حُفِظت عينات الأركيوبتركس كحفريات في ظلِّ ظروف استثنائية أتاحَتِ الإمكانيةَ لرؤية الآثار المصوَّرة على نحوٍ رائع لكمٍّ من الريش المستخدَم في الطيران. كان هذا الريش ملتصقًا بالجناحين وعلى طول جانبَيِ الذيل، ويشير إلى أن هذا الكائن كان طائرًا؛ فالريش من السمات الفريدة التي تتسم بها الطيور، ومن ثَمَّ يشير هذا إلى وجود صلة دون أدنى شك. هذا هو أحدُ الأسباب التي دفعت إلى اعتبار الأركيوبتركس من الحفريات المهمة، والسببُ في كونها محورَ هذه المقارنة. ومن المثير أن نتساءل: كيف كان من الممكن تصنيف هذا الكائن، إذا لم تؤدِّ المصادَفةُ إلى حفظ هذا الريش على هذا



شكل ٦-١: إعادة بناء لشكل الأركيوبترِكس وهو على قيد الحياة.

النحو؟! وعلى الأرجح، كان من الممكن أن يُعاد وصفُه في السنوات الأخيرة على أنه أحد الدرومايوصوريات الثيروبودية الصغيرة على نحوٍ استثنائيٍّ.

عجائب الصين

في خلال تسعينيات القرن العشرين، بدأت عمليات التنقيب في محاجر مقاطعة لياونينج في شمال شرق الصين، تُسفِر عن بعض الحفريات المميزة والمحفوظة جيدًا على نحوٍ استثنائيٍّ من أوائل العصر الطباشيري. في البداية، اشتملت هذه الحفريات على طيور بدائية محفوظة جيدًا مثل كونفيوشسورنيس، واشتملت الهياكل العظمية على آثارٍ لريش ومناقير ومخالب؛ ثم في عام ١٩٩٦، وصف جي شيانج وجي شوان هيكلًا مكتملًا لديناصور ثيروبودي صغير يشبه كثيرًا في تشريحه وأبعاده الديناصورَ الثيروبودي الشهيرَ كومبسوجناثز (الشكل ١-١١)، وقد أطلقَا على هذا الديناصور اسم سينوصوروبترِكس. كان هذا الديناصور مميَّزًا؛ نظرًا لوجود حافة من التكوينات الشعيرية على طول عموده الفقري وفي جميع أنحاء جسمه؛ مما يشير إلى وجود غطاء من نوعٍ ما على الجلد يشبه

«الوبر» على سجادة خشنة؛ كذلك ظهرت أدلةٌ على وجود أنسجة رخوة في تجويف العين وفي منطقة الأمعاء. كان من الواضح أن بعض الثيروبودات الصغيرة كانت أجسامها مغطَّاةً بغطاءٍ ما. أدَّت هذه الاكتشافات إلى تضافُر الجهود من أجل العثور على المزيد من هذه الحفريات في لياونينج، وبدأت تظهر بانتظامٍ متزايد، وقدَّمت بعضًا من الاكتشافات المذهلة حقًّا.

عقب اكتشاف سينوصوروبتركس بوقت قصير، عُثِرَ على هيكل عظمي آخَر؛ كان هذا الحيوان — المسمَّى بروتاركيوبتركس — أولَ ما يظهر فيه ريش حقيقي يشبه ريشَ الطيور ملتصقًا بذيله وعلى طول جانبَيْ جسمه، وكان تشريحه يشبه الدرومايوصوريات أكثر من السينوصوروبتركس. أظهر اكتشافٌ آخَر حيوانًا يشبه الفيلوسيرابتور إلى حدٍّ كبير، لكنه سُمِّي هذه المرة سينورنيثوصوروس (مرةً أخرى بَدَا مغطًّى «بِوَبر» من الشعيرات القصيرة). وضمَّت اكتشافاتٌ أحدثُ حيوانَ كاوديبتركس، وهو كائن ضخم (في حجم الديك) قصيرُ الذراعين إلى حدٍّ ما، اشتهر بخصلات مجمعة ناتئة من الريش في طرف ذيله، وحوافَّ أقصر من الريش على طول ذراعيه؛ ودرومايوصوريات أصغر حجمًا ومغطَّاة بريش أكثر. وفي ربيع عام ٢٠٠٣ ظهر للعالَم درومايوصور مذهل له «أربعة أجنحة» سُمِّي مايكرورابتور؛ كان هذا الكائن الأخير صغيرَ الحجم ويشبه الشكل التقليدي للدرومايوصور، بذيله الطويل والرفيع المعتاد، وتجويف الحوض الذي يشبه حوض الطيور، وذراعَيْه الطويلتين اللتين كان يستخدمهما في الإمساك بالأشياء، وصفوفٍ من الأسنان الحادة داخل فكَّيْه. كان يحد الذيل ريش قوادم الجناح، وكان جسمه مغطًّى بريش ناعم طري. مع هذا، كان من المذهل على نحو فريد حفْظُ الريش المستخدَم في الطيران على طول الذراعين، الذي يشكِّل جناحين يشبهان جناحَي الأركيوبتركس. والأمر غير المتوقَّع على الإطلاق وجودُ حوافَّ من الريش تشبه الموجودة في الجناحين، ملتصقةٍ بالأجزاء السفلى من الأرجل، ومن هنا جاء الوصف «أربعة أجنحة».

كان هذا الكمُّ الكبير من الاكتشافات الجديدة والمذهلة، التي خرجت من محاجر لياونينج على مدى فترة زمنية قصيرة أكثر من أي وقت مضى؛ ممَّا يستحيل معه تقريبًا أن نتخيَّل ما يمكن اكتشافه فيما بعدُ.

الطيور والثيروبودات وقضية التكوين الفسيولوجي للديناصورات

تسهم الاكتشافات المذهلة الجديدة من لياونينج على نحوٍ مهم في النقاش السابق حول التكوين الحيوي والفسيولوجي للديناصورات، لكنها — كالمعتاد — لا تجيب عن كمٍّ كبير من الأسئلة كما كنَّا نتمنَّى.

بادئ ذي بَدء، أصبح من الواضح الآن أن أجدادنا في العصر الفيكتوري لم يكونوا مُحِقِّين؛ ففي النهاية ليس الريش وحده هو ما يميز الطيور؛ فثمة أنواع عديدة من غطاءات الجلد التي يبدو أنها وُجِدت في كمٍّ كبير من الديناصورات الثيروبودية، بدايةً من الغطاء بشعيرات شعثاء، وغطاءات الجسم التي تشبه الريش الناعم الطري، ووصولًا إلى شكل الريش المكتمِل المعالم وريش الطيران. تُجبِرنا اكتشافاتُ لياونينج على التفكير في مدى الانتشار الذي كانت عليه مثل هذه الأنواع من غطاءات الجسم، ليس فقط بين الثيروبودات، وإنما ربما أيضًا لدى مجموعات الديناصورات الأخرى. وفي ظل التوزيع المعروف لأنواع غطاء الجسم، من المنطقي للغاية التفكيرُ في احتمال وجود نوعٍ ما من الغطاء الجلدي لدى عمالقة مثل التيرانوصور ريكس (الذي كان أحد أنواع الثيروبودات من أقارب السينوصوروبتركس)، حتى إنْ كان هذا في صِغَرها فقط. إن مثل هذه الأسئلة المثيرة لا يمكن الإجابة عنها في الوقت الحالي، وتتطلب اكتشافَ رواسب جيولوجية جديدة، تشبه في جودة حفظها للحفريات تلك التي عُثِرَ عليها في لياونينج.

من الواضح للغاية أيضًا أن أنواعًا كثيرة من الثيروبودات المكسوَّة بالريش، وما نعرفها حاليًّا بوصفها طيورًا حقيقية (كائنات لديها جهازُ طيرانٍ مُكتمِل)؛ قد تعايشت معًا خلال العصرين الجوراسي والطباشيري. ظهر الأركيوبتركس في أواخر العصر الجوراسي (منذ ١٥٥ مليون سنة)، ومن الواضح أنه كان مكسوًّا بالريش ويشبه الطيور. مع هذا، أصبحنا نعلم الآن يقينًا أنه في أوائل العصر الطباشيري (منذ ١٢٠ مليون سنة تقريبًا) عاش عدد وافر من أنواع «الديناصورات الطائرة» هذه، مثل المايكرورابتور وأقاربه، مع الطيور الحقيقية جنبًا إلى جنب. إن كمَّ التنوُّع — أو وفرة الأنواع الحيوية — من هذه «الديناصورات الطائرة» محيِّر بعض الشيء، ويُخفِي إلى حدٍّ ما الأصولَ التطوُّرية للطيور الحقيقية التي نراها من حولنا في عصرنا الحالي.

لكن من المنظور الفسيولوجي، فإن الدليل على وجود ديناصورات ثيروبودية ذات نوع من الغطاء العازل لأجسامها، يشير على نحوٍ قاطع إلى حقيقة أن هذه الديناصورات (على الأقل) كانت فعليًّا من ذوات الدم الحار؛ وثمة سببان للاعتقاد في هذا:

(١) كان كثير من هذه الديناصورات المكسوَّة بالريش صغيرَ الحجم (يتراوح طوله بين ٢٠ و٤٠ سنتيمترًا)، وكما نعلم فإن الحيوانات الصغيرة تتمتَّع بمساحة سطح كبيرة نسبيًّا، وتفقد الحرارةَ من أجسامها في البيئة بسرعة كبيرة؛ ومن ثَمَّ، فإن العزل باستخدام الشعيراتِ (التي تحاكي الفراء الذي نراه على أجسام الثدييات الموجودة حاليًّا) والريشِ الناعم الطري، ربما كان ضروريًّا إذا كانت هذه الكائنات تولِّد حرارةَ الجسم الداخلية.

(٢) بالمثل، فإن التمتُّع بطبقة خارجية عازلة على الجلد، من شأنه أن يجعل الاستلقاءَ تحت أشعة الشمس للحصول على الحرارة صعبًا — إن لم يكن مستحيلًا — لأن الطبقة العازلة ستعيق قدرتَها على الحصول على الحرارة من الشمس. والاستلقاء في الشمس هو طريقة الكائنات ذات الدم البارد في الحصول على الحرارة لأجسامها؛ لذلك فإن وجود سحلية مغطَّاة بالفراء أو الريش أمرٌ مستحيل من الناحية البيولوجية.

الطيور تنحدر من الديناصورات: تفسير تطوُّري

إن دلالات هذه الاكتشافات الجديدة مذهلة حقًّا؛ فقد قيل بالفعل — بالمنطق وبقدر من القوة — إن الديناصورات الثيروبودية الصغيرة كانت حيواناتٍ عاليةَ النشاط وسريعةَ الحركة و«معقَّدة» بيولوجيًّا؛ وعلى هذا الأساس بَدَا منطقيًّا ترشيحُها لتكون من ذوات الدم الحار المحتملة؛ إذ تشير استنتاجاتنا بشأن أسلوب حياتها إلى أن معظمها كان سيستفيد كثيرًا من كونه من ذوات الدم الحار. هذا، وتؤكِّد اكتشافات لياونينج أن كثيرًا من هذه الديناصورات العالية النشاط التي تشبه الطيور كانت حيوانات صغيرة الحجم، وهذه نقطة محورية؛ لأن صِغَر الحجم يمارِس ضغطًا فسيولوجيًّا بالغًا على ذوات الدم الحار؛ نظرًا لأن نسبة كبيرة من حرارة أجسامها المولَّدة داخليًّا يمكن فقدانها عبر سطح الجلد؛ لذا من المتوقَّع أن تعزل ذوات الدم الحار النشيطة الصغيرة الحجم أجسامَها من أجل تقليل فقدان الحرارة؛ ومن ثَمَّ، طوَّرت الديناصورات الثيروبودية الصغيرة نظامَ عزلٍ من أجل منع فقدان الحرارة؛ لأنها كانت من ذوات الدم الحار، لا لأنها «أرادت» أن تصير من الطيور.

تشير اكتشافات لياونينج إلى تطوُّر أنواع عديدة من أغطية الجسم العازلة، على الأرجح عن طريق تعديلات خفية لأنماط نموِّ حراشف الجلد المعتادة؛ بدايةً من شعيرات تشبه الشعر وحتى الريش المكتمِل النضج. فمن المحتمَل أن ريش الطيران الشبيه بالموجود لدى الطيور لم يتطور حقًّا لأغراض الطيران، وإنما كان له أصل أكثر عمليةً بكثير؛ فيبدو أن عدَّةً من «الديناصورات الطائرة» المستخرجة من لياونينج لديها خصلاتٌ مجمَّعة من الريش في نهاية الذيل (تشبه إلى حدٍّ ما مراوح الراقصات اليابانيات)، وحوافٌّ من الريش على طول ذراعَيْها أو على رأسها أو تصل إلى أسفل عمودها الفقري. من الواضح أن التحيُّزات في عملية الحفظ قد تلعب أيضًا دورًا في طريقة حفظ هذا الريش، وفي تحديد أجزاء الجسم التي يُحفَظ عليها. لكن في الوقت الحالي، يبدو من المحتمَل على الأقل أن يكون هذا الريش قد تطوَّر كتكوينات ارتبطت بسلوك هذه الحيوانات؛ ربما لتقديم إشاراتٍ للتعرُّف، كما هو الحال في الطيور الموجودة حاليًّا، أو استُخدِمت كجزءٍ من طقوس تزاوُجِها، قبل وقت طويل من ظهور أي وظيفة طيران حقيقية.

في هذا السياق، فإن الانزلاق والطيران بدلًا من أن يكونَا شرطًا أساسيًّا في أصول الطيران، أصبحَا فيما بعدُ فوائدَ «إضافية». من الواضح وجود إمكانيةٍ لاستخدام الريش في أغراض حركية هوائية؛ فكما هو الحال تمامًا لدى الطيور في العصر الحديث، ربما تكون القدرة على القفز والرفرفة قد حسَّنت عروضَ التزاوُج لدى «الديناصورات الطائرة»؛ على سبيل المثال: في حالة الكائن الصغير مايكرورابتور، ربما تكون مجموعة الريش الممتدة على طول حواف الذراعَيْن والرِّجْلين والذيل، قد أمدَّتْه بالقدرة على القفز في الهواء من الأغصان أو من مواقع مرتفعة أخرى مشابهة. ومن هذا النوع من نقاط الانطلاق، يبدو الانزلاق والرفرفة في أثناء الطيران «خطوةً» قصيرةً نسبيًّا في واقع الأمر.

مشكلات مستمرة

مع هذا، ينبغي ألَّا ننجرف كثيرًا وراء السيناريو المطروح آنفًا؛ فعلى الرغم من أن اكتشافات لياونينج على جانب مذهل فعلًا من الأهمية؛ إذ إنها تقدِّم — كما أوضحنا — إطلالةً غنيةً بالتفاصيل على تطوُّر الديناصورات والطيران في العصر الطباشيري، فإنها لا تقدِّم بالضرورة كلَّ الإجابات. فثمة نقطة بالغة الأهمية لا بد من تذكُّرها، وهي أن المحاجر في لياونينج تنتمي لأوائل العصر الطباشيري؛ ومن ثَمَّ فإن حفرياتها أحدث بكثير (بنحو ٣٠ مليون سنة على الأقل) من أقدم ديناصور مكسوٍّ بالريش محفوظ

جيدًا يتمتَّع بجناحين معقَّدَيْن ومتطوِّرَيْن للغاية: الأركيوبتركس. فأيًّا كان المسار الذي سلكته الديناصورات الطائرة الأولى في تطوُّرها، وأدَّى في النهاية إلى ظهور الطيور، فإنه بالتأكيد لم يكن عبر الديناصورات الاستثنائية المكسوَّة بالريش التي استُخرِجت من لياونينج. إن ما نراه في لياونينج هو لقطة عن التنوُّع التطوُّري للثيروبودات الطائرة (وبعض الطيور الحقيقية)، ولا يعبِّر عن أصل الطيور؛ فأصل الطيور لا يزال مغطًّى برواسب من منتصف العصر الجوراسي، أو ربما حتى من أوائله، قبل أن يظهر الأركيوبتركس على سطح الأرض. ويشير كلُّ ما نعرفه حتى الآن إلى علاقةٍ وطيدة للغاية بين الديناصورات الثيروبودية والطيور الأولى، لكن الثيروبودات المهمة التي ظهرت في أوائل العصر الجوراسي ومنتصفه، والتي انحدر منها الأركيوبتركس، ما زالت لم تُكتشَف بعدُ، ونأمل أن تحدث في السنوات القادمة اكتشافاتٌ مذهلة تملأ هذا الجزءَ من القصة.

انتهى الفصل الخامس بالرأي القائل إن الديناصورات عاشت في وقتٍ من تاريخ الأرض كان يحابي الكائناتِ ذات الأجسام الضخمة والنشاط العالي، التي كانت قادرةً على الحفاظ على درجة حرارة أجسامها ثابتةً ومرتفعةً، دون أن تتكبَّد معظمَ تكاليف كونها فعليًّا من ذوات الدم الحار. تشير «الديناصورات الطائرة» من لياونينج إلى عدم صحة هذا الرأي؛ إذ كان لا بدَّ ببساطةٍ للثيروبودات الصغيرة المغطَّاة بطبقة عازلة أن تكون من ذوات الدم الحار، كما أن صلتها الوثيقة بالطيور — التي نعلم أنها من ذوات الدم الحار — تؤكِّد ببساطة هذه النقطةَ.

إن ردِّي على هذا يجمع بين الإثبات والنفي؛ فليس ثمة ما يدعو إلى الشك حاليًّا في أن الديناصورات الثيروبودية الشبيهة بالطيور كانت من ذوات الدم الحار فعليًّا. لكنني أعتقد أن الحُجج التي تشير إلى أن معظم الديناصورات التقليدية كانت كائناتٍ قليلةَ النشاط ثابتةَ الحرارة (فقد أتاحت لها أجسامُها الضخمة التمتُّعَ بدرجة حرارة داخلية مستقرَّة)؛ لا تزال قائمةً. ثمة بعض الأدلة المؤيِّدة لوجهة نظري، يمكن العثور عليها بين ذوات الدم الحار الموجودة حاليًّا؛ فالأفيال، على سبيل المثال، معدَّلُ أيضها أقلُّ بكثيرٍ من الفئران، للأسباب نفسها. فالفئران صغيرة الحجم وتفقد الحرارةَ سريعًا في البيئة، ولا بد لها من الحفاظ على معدل أيض عالٍ من أجل تعويض الحرارة المفقودة؛ أما الأفيال فهي ضخمة (في حجم الديناصورات عمومًا)، وتتمتَّع بدرجة حرارة ثابتة داخل أجسامها نظرًا لحجمها، وليس فقط لأنها من ذوات الدم الحار. في الواقع، تمثِّل ضخامةُ الحجم لدى ذوات الدم الحار — ولو بصفة جزئية على الأقل — تحدِّيًا فسيولوجيًّا؛

فعلى سبيل المثال: تعاني الأفيال من مشكلات إذا تحرَّكَتْ بسرعة كبيرة؛ فتولِّد عضلاتُ الحفاظ على وضعية الجسم وعضلاتُ الأرجل كمًّا كبيرًا من الطاقة الحرارية الكيميائية الزائدة، وتحتاج إلى استخدام أذنَيْها الكبيرتين «سريعتَي الخفقان»، من أجل مساعدتها في إخراج الحرارة سريعًا لتجنُّب السخونة المفرطة المميتة.

كانت الديناصورات إجمالًا على قدر فائق من الضخامة، وكانت أجسامُها قادرةً على الحفاظ على درجة حرارة داخلية ثابتة؛ ونستنتج من حالة الفيل أن الديناصورات لم يكن في مصلحتها أن تكون فعليًّا من ذوات الدم الحار، في عالم كان شديدَ الحرارة على أية حال. ونظرًا لتطوُّر الديناصورات فسيولوجيًّا ككائنات ضخمة ثابتة الحرارة (درجة حرارة الجسم الداخلية ثابتة نظرًا لحجمها الضخم)، فإن المجموعة الوحيدة منها التي خالفَتِ الاتجاهَ العام الذي يميل نحو الحجم الضخم لدى الديناصورات، والتي تطوَّرت لتصبح مجموعةً من الديناصورات من ذوات الأجسام الصغيرة؛ كانت الدرومايوصوريات الثيروبودية.

يتضح، من التشريح وحده، أن الدرومايوصوريات كانت عالية النشاط، واستفادت من ثبات درجة الحرارة، كما أن أدمغتها الكبيرة نسبيًّا كانت تتطلَّب إمدادًا ثابتًا من الأكسجين والعناصر الغذائية. والمفارقة أن ثبات درجة الحرارة لا يمكن الحفاظ عليه في ظلِّ حجم الجسم الصغير، دون وجود غطاءٍ عازل للجسم؛ نظرًا لفقدان الحرارة الذي لا يمكن احتمالُه عبر الجلد. كان الاختيار واضحًا وسهلًا؛ فقد كان لزامًا على الثيروبودات الصغيرة إما أن تتخلَّى عن نمط حياتها المتَّسِم بارتفاع النشاط وتصبح فعليًّا من الزواحف، وإما أن تزيد من إنتاج حرارتها الداخلية وتصبح حقًّا من ذوات الدم الحار، وتتجنَّب فقدان الحرارة عن طريق تطوير آليةِ عزلِ الجلد؛ لذا، أقترح أن هذه الحالة لا تنطبق عليها مقولة «كل شيء أو لا شيء»؛ فمعظم الديناصورات كانت في الأساس كائنات ضخمة ثابتة الحرارة، وكانت لديها القدرة على تحمُّل مستويات مرتفعة من النشاط دون تحمُّل التكاليف الكاملة لأنماط ثبات درجة الحرارة لدى الثدييات أو الطيور، ومع هذا أُجبِرت الثيروبودات الصغيرة — لا سيَّما الدرومايوصوريات — (وسلالتها من الطيور الحقيقية) على تطوير نظامٍ مكتمِلِ النمو، لإنتاج حرارة داخلية ثابتة وغطاءٍ عازل للجسم مرتبط بها.

الفصل السابع

أبحاث الديناصورات: ملاحظات واستنتاجات

في هذا الفصل نعرض مجموعةً متنوِّعةً من خطوط البحث، في تأكيدٍ صريح على ضرورة استخدام أساليب متعدِّدة إذا كنَّا نريد أن نفهم حياةَ الحيوانات من حفرياتها.

علم دراسة آثار الديناصورات

إنَّ بعض جوانب البحث في مجال الديناصورات له طابع يشبه التحرِّي السري، وربما يكون أكثرُها هو علم دراسة الآثار الأحفورية أو التتبُّع الأحفوري، الذي يختص بدراسة آثار الأقدام.

> لا يوجد فرعٌ من علم التحرِّي أكثرُ أهميةً وعرضةً للإهمال، من فنِّ تتبُّعِ آثار الأقدام.
>
> (كونان دويل، «دراسة في اللون القرمزي»، ١٨٩١)

من المذهل أن دراسة آثار أقدام الديناصورات لها تاريخ طويل؛ فقد عُثِرَ على بعضٍ من أوائل آثار الأقدام، التي جُمِعت وعُرِضت في عام ١٨٠٢ في ماساتشوستس، على يد الشاب بليني مودي في أثناء حرْثِه لأحد الحقول. قدَّمَ إدوارد هيتشكوك في النهاية شرحًا لآثار الأقدام هذه وغيرها من آثار الأقدام الضخمة الثلاثية الأصابع، ووصفها في عام ١٨٣٦ بكونها آثارًا تركتها طيورٌ عملاقة، ولا يزال من الممكن رؤيتها في متحف برات في كلية أمهيرست. ومن منتصف القرن التاسع عشر فصاعدًا، عُثِرَ على آثارٍ على

فترات منتظمة إلى حدٍّ ما، في أجزاء مختلفة من العالم. ومع فهم تشريح الديناصورات، وبالأخص شكل أقدامها، اتَّضَح أن آثار الأقدام الضخمة الثلاثية الأصابع التي «تشبه أقدام الطيور»، التي عُثِرَ عليها في صخورٍ تعود لحقبة الحياة الوسطى، تنتمي إلى ديناصورات أكثر منها إلى طيور عملاقة. نادرًا ما كانت تُعتبَر هذه الآثار ذاتَ أهمية علمية كبيرة، على الرغم من الاهتمام الذي حظيت به على المستوى المحلي؛ لكن في السنوات الأخيرة، في ضوء أبحاث مارتن لوكلي من جامعة كولورادو في دنفر، بدأ يتكوَّن إدراكٌ أوسعُ نطاقًا لما يمكن أن تقدِّمه هذه الآثارُ من معلومات هائلة.

من أوائل هذه الأمور وأكثرها وضوحًا، أن الآثار المحفوظة تسجِّل أنشطةَ الديناصورات «في حياتها»، كما أن الآثار الفردية تسجِّل الشكلَ العام للقدم وعدد الأصابع، وهو ما يساعد دومًا في تضييق نطاق البحث عن صاحب هذه الآثار المحتمَل، خاصةً إذا اكتُشِفت هياكلُ عظميةٌ لديناصورات في صخورٍ مماثِلة لها في العمر في منطقة قريبة. وفي حين أن الآثار الفردية ربما تكون في حدِّ ذاتها مثيرةً للاهتمام، فإن الآثار المتتالية تقدِّم تسجيلًا للطريقة الفعلية التي كان الكائن يتحرَّك بها؛ فهي تعكس اتجاهَ القدمين عند ملامستهما للأرض، وطولَ الخطوة، واتساعَ الأثر (مدى قرب المسافة بين القدم اليسرى والقدم اليمنى). وانطلاقًا من هذه الأدلة، يمكن إعادةُ تمثيل الهيئة التي كانت الأرجلُ تتحرك بها بطريقة ميكانيكية. بالإضافة إلى هذا، ثبَتَ — عن طريق جمع ملاحظاتٍ باستخدام بيانات مأخوذة من عدد كبير من الحيوانات الموجودة حاليًّا — أنَّه من الممكن أيضًا حساب السرعات التي كانت تتحرك بها الحيواناتُ صاحبة هذه الآثار. وقد جاء الوصول إلى هذه الاستنتاجات ببساطةٍ عن طريق قياسِ حجم الآثار، وطولِ كل خطوة، والتوصُّل إلى استنتاج تقريبي لطول الساق. وعلى الرغم من أن تقدير طول الساق بدقةٍ كبيرة قد يبدو صعبًا للوهلة الأولى، فقد ثبَتَ أن الحجم الفعلي لآثار الأقدام هو من العلامات الدالة الجيدة للغاية (بناءً على ما نراه في الحيوانات الموجودة حاليًّا)، وفي بعض الحالات يكون قد عُثِرَ على عظام قدمٍ وساق أو هياكل عظمية لديناصورات عاشت في الوقت الذي تُرِكت فيه هذه الآثار.

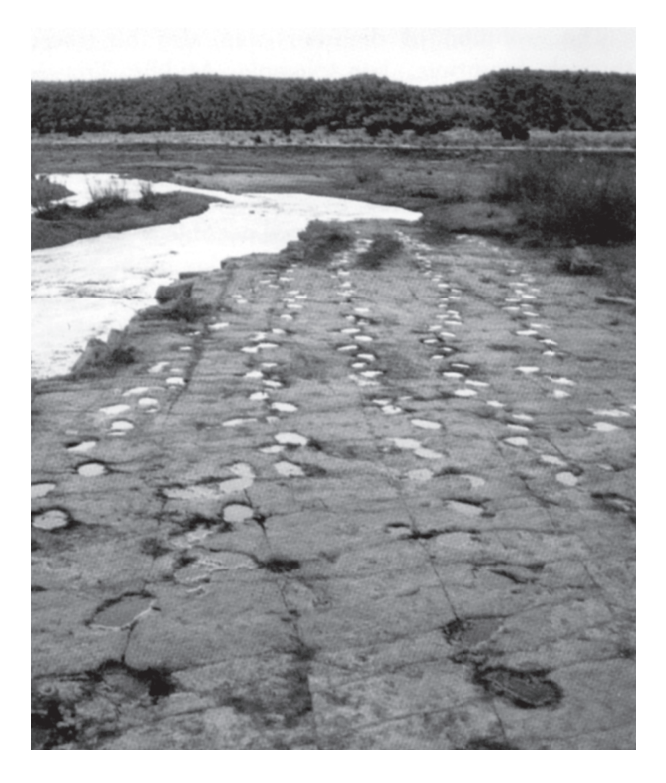
ربما يكشف أيضًا شكلُ الآثار الفردية عن معلومات تتعلَّق باستنتاج الطريقة التي كانت تتحرَّك بها هذه الحيوانات؛ فالآثار العريضة المسطَّحة نسبيًّا، تشير إلى أن القدم بأكملها كانت تلامس الأرضَ لفترةٍ طويلة إلى حدٍّ ما؛ مما يشير إلى أن الحيوان كان يتحرَّك ببطءٍ نسبي. وفي حالات أخرى، ربما يظهر في الآثار أن أطراف الأصابع فقط

هي التي كانت تلامس الأرضَ؛ ممَّا يشير إلى أن الحيوان كان يركض مُسرِعًا على أطراف أصابعه.

ثمة جانب آخَر من الجوانب المثيرة للاهتمام في الآثار التي تركتها الديناصورات، يرتبط بالظروف التي أدَّت إلى حفظها في الأساس؛ فآثارُ الأقدام لن تُحفَظ على أرض صلبة، وإنما تحتاج إلى أرض لينة ورطبة عادةً، ومن المثالي أن تكون ذات قوام طيني. وبمجرد ترْكِ الآثار، يكون من المهم عندئذٍ ألَّا تتعرَّضَ لتشويه كبير قبل تحجُّرِها؛ وقد يحدث هذا إذا دُفِنت الآثارُ سريعًا تحت طبقة أخرى من الطمي؛ لأن السطح يصبح صلبًا بفعل الشمس، أو عن طريق الترسيب السريع للمعادن التي تشكِّل نوعًا من الأسمنت داخل الطبقة المحتوية على آثار الأقدام. كثيرًا ما يمكن أن تُستنتَج بدقةٍ الظروفُ التي كانت موجودةً وقتَ ترْكِ الديناصورات هذه الآثارَ، من تفاصيل الرواسب المحتوية على الآثار نفسها؛ وقد يتدرَّج هذا من درجة تغيُّر شكل الطمي بفعل قدم الحيوان ومدى العمق الذي وصلت إليه القدم عندما غُرِست في الرواسب، إلى مدى الاستجابة التي تبدو عليها الرواسب لحركات القدم. فمن الممكن أحيانًا فهم أن الحيوان كان يصعد على أحد المنحدرات أو يهبط منها من مجرد الطريقة التي تحتشد بها التربةُ أمام آثار القدم الأساسية أو خلفها؛ ومن ثَمَّ، يمكن للآثار التي تركتها الديناصوراتُ أن تقدِّم قدرًا كبيرًا من المعلومات ليس فقط عن طريقة تحركها، وإنما أيضًا عن أنواع البيئات التي كانت تتحرَّك فيها.

يمكن لدراسة الآثار أن توضِّح أيضًا معلوماتٍ عن سلوك الديناصور. في حالات نادرة، اكتُشِفت آثارٌ متعدِّدة لديناصورات، وقد اكتُشِف مثالٌ شهير على ذلك — سُجِّل في نهر بالوكسي في جلين روز في ولاية تكساس — على يد مُستكشِف شهير لآثار أقدام الديناصورات يُدعَى رولاند تي بيرد؛ فقد عُثِرَ على مسارين متوازيين من آثار الأقدام في هذا الموقع، أحدهما من صنع برونتوصور ضخم، والآخَر من صنع ديناصور لاحِم ضخم. بَدَا أن آثار الديناصور اللاحِم الكبير تغطِّي آثارَ البرونتوصور، وفي نقطةِ تقاطُع هاتين المجموعتين من الآثار، كان أحد الآثار يختفي، وقد توقَّعَ بيرد أن يكون هذا إشارةً إلى مكان الهجوم. إلا أن لوكلي استطاع أن يُظهِر من خرائط موقع الآثار أن ديناصورات البرونوتصور (حيث كان ثمة الكثير منها) استمرَّتْ في السير بعد مكان الهجوم المقترَح، وعلى الرغم من أن الثيروبود الضخم كان يتعقَّب البرونتوصور (حيث يتداخل بعضٌ من آثار أقدامه مع آثار أقدام البرونتوصور)، فلم تكن توجد علامةٌ على حدوث «اشتباك»؛

على الأرجح، كان هذا المفترس يتعقَّب ببساطة فرائسه المحتمَلة عن طريق السير وراءها على مسافة آمنة. رصد بيرد بعضَ الآثار الأكثر إقناعًا في دافينبورت رانش، في تكساس أيضًا؛ وفي هذه المرة، استطاع تسجيلَ آثار أقدام ٢٣ ديناصورًا صوروربوديًّا تشبه البرونتوصور، تسير معًا في الاتجاه نفسه (الشكل ٧-١)؛ وأشار هذا بشدةٍ إلى أن بعض الديناصورات كانت تسير معًا في قطعان. من المستحيل الاستدلال من الهياكل العظمية على سلوك السير في قطعان أو أسراب، لكنَّ آثارَ الأقدام تقدِّم دليلًا مباشِرًا على ذلك.



شكل ٧-١: صفوف متوازية من الآثار التي خَلَّفَتْها مجموعةٌ من الديناصورات الصوروبودية، في أثناء تحرُّكها عبر سهل رطب منخفض.

أدَّى الاهتمام المتزايد بآثار أقدام الديناصورات في السنوات الأخيرة إلى ظهور عدد من مجالات البحث المحتمَلة المثيرة للاهتمام؛ فأحيانًا كانت تُكتشَف آثارُ الديناصورات في مناطق لم تُكتشَف فيها بقايا هياكل عظمية لديناصورات؛ لذا فإن هذه الآثار قد تساعد في ملء ثغرات معيَّنة في السجل الحفري المعروف للديناصورات. ظهرت كذلك مفاهيمُ جيولوجيةٌ مثيرة للاهتمام من واقع دراسة خصائص آثار الديناصورات. إن الديناصورات الصوروبودية الضخمة (مثل البرونتوصور المذكور آنفًا) ربما كان منها ما يزن من ٢٠ إلى ٤٠ طنًّا وهو على قيد الحياة، وربما مارست هذه الحيوانات قوًى هائلة على الأرض في أثناء سيرها. وعلى الطبقات اللينة، ربما أدَّى ضغطُ أقدام هذه الديناصورات إلى تشويه شكل الأرض على عُمْقٍ يصل إلى متر واحد أو أكثر تحت السطح، ونتج عن هذا سلسلة من «آثار الأقدام التحتية» التي تحاكي آثار الأقدام الأصلية الموجودة على السطح. إن هاجس «آثار الأقدام التحتية» يعني أن بعض آثار الديناصورات ربما يظهر على نحوٍ مبالَغٍ فيه في السجل الحفري، إذا كان من الممكن تكرار الأثر الواحد في صورة العديد من «الآثار التحتية».

إذا كانت قطعان من هذه الكائنات الضخمة قد سارت فوق مناطق ما — مثلما حدث بالتأكيد في دافينبورت رانش — فإنها كانت لديها القدرة أيضًا على تغيير شكل الأرض من تحت أقدامها؛ فتحطِّمها بالضغط عليها وتدمِّر تكوينها الرسوبي الطبيعي؛ سُمِّيت هذه الظاهرة المُكتشَفة حديثًا نسبيًّا «تأثير سير الديناصورات على سطح الأرض». ربما تكون هذه ظاهرة جيولوجية، لكنها تشير إلى تأثير بيولوجي مميَّز آخَر يرتبط بأنشطة الديناصورات التي يمكن بمرور الوقت قياسها أو لا. يتمثَّل هذا في التأثير التطوري والبيئي للديناصورات على المجتمعات الأرضية إجمالًا. إن سيرَ قطعان ضخمة من الديناصورات التي تبلغ عدَّة أطنان عبر مساحات شاسعة من الأراضي، كان بإمكانه تدميرُ البيئة المحلية بالكامل؛ فنحن نعلم أن الأفيال حاليًّا تستطيع إلحاقَ أضرار بالغة بالسافانا الأفريقية؛ نظرًا لما يمكن أن تتسبَّب فيه الأفيال من تمزيقِ أشجارٍ مكتمِلةِ النضج وإسقاطها. إذن، ماذا يمكن أن يفعل قطيعٌ من البرونتوصورات البالغ وزن الواحد منها ٤٠ طنًّا؟ وهل كان لهذا النشاط التدميري تأثيرٌ على الحيوانات والنباتات الأخرى التي عاشت في ذلك الوقت؟ وهل يمكن لنا تحديدُ مثل هذه التأثيرات أو قياسها على المدى الطويل، ومعرفة ما إذا كانت لها أهمية في تاريخ التطور في حقبة الحياة الوسطى أم لا؟

فضلات متحجِّرة

يركِّز فرعٌ بحثي آخَر أقلُّ بريقًا قليلًا في الدراسة الحيوية للحفريات، على روث حيوانات مثل الديناصورات؛ يُشار إلى هذه المادة باسم «الفضلات المتحجِّرة»، ومن المفاجئ أن دراستها لها تاريخ طويل وشهير! يرجع إدراك أهمية الروث المحفوظ بالتحجُّر إلى أبحاث ويليام باكلاند من جامعة أكسفورد (وهو الرجل الذي وصف أول ديناصور؛ الميجالوصور). كان باكلاند جيولوجيًّا رائدًا عاش في النصف الأول من القرن التاسع عشر، وقضى وقتًا كبيرًا في جمع ودراسة الصخور والحفريات من موطنه الأصلي، بالقرب من بلدة لايم ريجيس في مقاطعة دورست، بما في ذلك حفريات الزواحف البحرية. بجانب هذا، أشار باكلاند إلى أعداد ضخمة من الحصى المميَّز، اتَّسَمَتْ عادةً بشكلها الحلزوني البسيط، وعندما فحصها باكلاند عن قرب — عن طريق كسرها لفتْحِها وفحْصِ قطاعات مهذَّبة منها — استطاع التعرف على قشور لامعة لأسماك، وعظام، والخطاطيف الحادة للسهميات (مجموعة من رأسيات الأرجل الرخوية)، ومجسَّات بأعداد كبيرة؛ لذا استنتج أن هذه الأحجار كانت على الأرجح الفضلات المتحجِّرة للزواحف المفترسة التي عُثِرَ عليها في الصخور نفسها. من الواضح أن دراسة الفضلات المتحجِّرة — على الرغم من أنها مثيرة للاشمئزاز إلى حدٍّ ما للوهلة الأولى — تستطيع الكشفَ عن أدلة على النظام الغذائي لذلك الكائن الذي كان يعيش على الأرض في وقتٍ ما، ولم يكن من الممكن الحصول على هذه الأدلة بطريقةٍ أخرى.

تمامًا مثل آثار الأقدام، يمكن لسؤال: «مَنْ فعل هذا؟» — على الرغم ممَّا ينطوي عليه من متعة واضحة — أن يمثِّل مشكلاتٍ كبيرةً. أحيانًا كانت الفضلاتُ المتحجِّرة — أو فعليًّا محتويات الأمعاء — تُحفَظ داخل أجسام بعض الفقاريات المتحجِّرة (خاصةً الأسماك)، لكن كان من الصعب ربْطُ الفضلات المتحجِّرة بديناصورات معينة أو حتى بمجموعة من الديناصورات. كرَّست كارين شين من وكالة المسح الجيولوجي الأمريكية حياتَها لدراسة الفضلات المتحجِّرة، وواجهت صعوبةً استثنائية في التعرُّف على الفضلات المتحجِّرة للديناصورات على نحوٍ موثوق به، حتى وقت قريب.

في عام ١٩٩٨، استطاعت شين وزملاؤها الإعلانَ عن اكتشافٍ أشاروا إليه في عنوان مقالهم على أنه «فضلات متحجِّرة ضخمة لأحد الثيروبودات». اكتُشِفت العينة المعنِيَّة في رواسب من فترة الماسترخي (أواخر العصر الطباشيري) في مقاطعة ساسكاتشوان، وتألَّفت من مادة متكتلة كثيرة البروز إلى حدٍّ ما، وبلغ طولها أكثر من ٤٠ سنتيمترًا،

ووصل حجمها إلى لترين ونصف لتر تقريبًا. عُثِرَ في المنطقة المحيطة مباشَرةً بالعينة وداخلَها على أجزاء مكسورة من عظام، كما عُثِرَ في جميع أنحاء العينة على مسحوقٍ لموادَّ عظميةٍ أكثر نعومةً، يشبه الرمالَ. وقد أكَّد التحليلُ الكيميائي للعينة أنها تحتوي على مستويات مرتفعة للغاية من الكالسيوم والفسفور؛ ممَّا يؤكِّد وجودَ تركيز عالٍ للمادة العظمية. وقد أكَّدت أكثرُ المقاطع الرفيعة لأنسجة هذه الأجزاء المتكسرة التركيبَ الخلوي للعظام، وأن الفرائس التي كانت تُهضَم كانت على الأرجح من الديناصورات؛ فكما توقَّعوا كانت هذه العينةُ على الأرجح فضلاتٍ متحجِّرةً ضخمةً لحيوان لاحِم. وبدراسة الحيوانات المعروفة من صخور هذه المنطقة، كان الكائن الوحيد الضخم بما يكفي لإنتاج فضلاتٍ بمثل هذه الأبعاد، هو الثيروبود الضخم التيرانوصور ريكس («ملك» الديناصورات)؛ وقد أظهر فحْصُ قِطَعِ العظام المحفوظة داخل هذه الفضلات المتحجِّرة، أن هذا الحيوان كان قادرًا على سحْقِ عظام فريسته في فمه، وأن الفريسة المرجَّحة كانت الديناصور كيراتوبسي أورنيثسيكي الصغير السن (من تكوين العظام في مقاطع الأنسجة). وبالنظر إلى حقيقة أن العظام الموجودة في هذه الفضلات المتحجِّرة لم تكن كلها مهضومةً، تبيَّنَ تحرُّكُ هذه المادة داخل الأمعاء بسرعة كبيرة، وهو ما قد يستخدمه البعضُ كدليلٍ على أن التيرانوصور ريكس ربما كان حيوانًا جائعًا ذا دم حار.

أمراض الديناصورات

من الواضح أن إثبات اعتماد التيرانوصور ريكس على نظام غذائي لاحِم كان أمرًا متوقَّعًا تمامًا؛ نظرًا للتشريح العام لمثل هذه الثيروبودات. ومع هذا رُصِدت أيضًا آثارٌ مَرَضية مثيرةٌ للاهتمام لاتِّباع نظامٍ غذائي غني باللحوم الحمراء في الهيكل العظمي للتيرانوصور.

إنَّ «سو» — الاسم الذي أُطلِق على الهيكل العظمي الضخم للتيرانوصور ريكس المعروض حاليًّا في متحف فيلد في شيكاجو — إحدى الحفريات المهمة، بسبب احتوائها على العديد من السمات المَرَضية؛ فإحدى عظام أصابعها — عظمة مشط اليد — يظهر عليها بعضُ الحُفَر المميَّزة الملساء في المِفصل الموجود بينها وبين الإصبع الأولى، وقد خضعت هذه الحُفَرُ لفحص مفصَّل على يد كلٍّ من علماء الأمراض وعلماء الحفريات في عصرنا الحالي. اكتشف علماء الحفريات أن التيرانوصورات الأخرى لديها مثل هذه الإصابات، لكنها نادرة إلى حدٍّ ما في المجموعات الموجودة في المتاحف. استطاع علماء الأمراض — بناءً على مقارَنةٍ مفصَّلة بالأمراض الموجودة لدى الزواحف والطيور الموجودة

حاليًّا — إثباتَ أن هذه الإصابات نتجت عن النقرس. يؤثِّر هذا المرضُ — المعروف لدى البشر أيضًا — بوجهٍ عامٍّ في اليدين والقدمين، ويكون مؤلمًا للغاية ويتسبَّب في تورُّم المناطق المصابة والتهابها. ينتج هذا المرض عن ترسُّب بلورات اليورات حول المفاصل. وعلى الرغم من أن النقرس قد ينتج عن الجفاف أو الفشل الكُلوي، فإن أحد عوامل إصابة البشر به هو النظام الغذائي؛ تناوُلُ طعامٍ غنيٍّ بمادة البيورين، وهي مادة كيميائية توجد في اللحوم الحمراء. إذن، فإن التيرانوصور لم يكن فقط يملك مظهرَ آكلات اللحوم، وإنما أثبتَتْ فضلاتُه هذا أيضًا، وكذلك أحد الأمراض التي كان يعاني منها.

تظهر على «سو» أيضًا مجموعة كبيرة من الأمراض التقليدية، وهذه الأمراض هي آثار دالَّة على إصابات سابقة؛ فعندما تنكسر عظامُ الكائن في أثناء حياته، تستطيع العظامُ علاجَ نفسها. وعلى الرغم من أن أساليب الجراحة الحديثة تمكِّن من إصلاح العظام المكسورة بدقة كبيرة، فإن أطراف العظام المنكسرة في الطبيعة لا تعود عادةً إلى مكانها بدقة، ويتكوَّن نسيجٌ صلبٌ حول منطقة التقاء أطراف العظام؛ هذه العيوب في عملية الإصلاح تترك آثارًا على الهيكل العظمي يمكن رؤيتُها بعد الوفاة. ومن الواضح من الحفرية «سو» أن التيرانوصور قد عانَى من عدد من الإصابات طوال «حياته»؛ ففي إحدى الحالات، تعرَّضَ إلى إصابة بالغة في صدره، الذي يحتوي بوضوح على العديد من الضلوع المكسورة والملتئمة. بالإضافة إلى هذا، فإن عموده الفقري وذيله بهما عدد من الكسور التي الْتأمَتْ — مرةً أخرى — في أثناء حياته.

من المثير للدهشة في هذه الملاحظات أن حيوانًا مثل التيرانوصور ريكس استطاع النجاة من نوبات الإصابة والمرض؛ فمن المتوقَّع أن مفترسًا ضخمًا مثل التيرانوصور ريكس سيصبح شديد الضعف، ومن ثمَّ فريسة محتمَلة بمجرد تعرُّضه لإحدى الإصابات؛ وكون هذا الأمر لم يحدث (على الأقل في حالة «سو») يشير إلى أن مثل هذه الحيوانات إما أنها كانت تتمتَّع بقدرة تحمُّل استثنائية؛ ومن ثمَّ لا تتأثَّر على نحوٍ بالغ بالإصابات الخطيرة، وإما أن هذه الديناصورات ربما عاشت في مجموعات مترابطة اجتماعيًّا، فكانت تتعاوَنُ من حينٍ لآخَر من أجل مساعدة الأفراد المصابة في المجموعة.

لُوحِظ أيضًا وجود أمراض أخرى لدى أنواع متعددة من الديناصورات؛ تتمثَّل هذه الأمراض في إصابات مدمِّرة للعظام، نتجت من خراجات في دواعم الأسنان (في حالة عظام الفك)، أو التهاب المفاصل الإنتاني والتهاب العظم والنِّقي المزمن في أجزاء أخرى

من الجمجمة أو الهيكل العظمي. وقد سُجِّل أحدُ الأمثلة البشعة على إصابة طويلة المدى لجرح في الساق لدى أورنيثوبود صغير؛ اكتُشِفَ الهيكلُ العظمي الجزئي لهذا الحيوان في رواسب تنتمي إلى أوائل العصر الطباشيري في جنوب شرق أستراليا؛ فقد كانت الأطراف الخلفية وعظام الحوض محفوظةً جيدًا، لكنَّ الجزءَ السفلي من الساق اليسرى كان مشوَّهًا بالكامل ومبتورًا (الشكل ٧-٢). وعلى الرغم من عدم إمكانية إثبات السبب الأصلي للعدوى اللاحقة، يُعتقَد أن هذا الحيوان ربما تلقَّى عضةً شديدة على قصبة ساقه اليسرى بالقرب من الركبة؛ ونتيجةً لهذا، كانت عظامُ قصبة الساق المتحجِّرة (القصبة والشظية) مغطَّاةً بالكامل بكتلة ضخمة وغير منتظمة من العظام تشبه النسيج الصلب.

كشف فحص هذه العظام المتحجرة وتصويرها بالأشعة السينية أن موقع الإصابة الأصلية لا بد أنه تعرَّض للعدوى، لكن بدلًا من أن تظلَّ هذه العدوى متركِّزةً في مكان الإصابة، انتشرت إلى أسفل تجويف النِّقي في عظام القصبة، ومع انتشارها دمَّرَتِ العظامَ جزئيًّا. ومع انتشار العدوى ظهر نسيجٌ عظمي إضافي على السطح الخارجي من العظم، كما لو كان الجسمُ يحاول صنْعَ «جبيرته» أو دعامته الخاصة. ومن الواضح أن الجهاز المناعي للحيوان لم يستطع منْعَ الانتشار المستمر للعدوى، وتكوَّنت خُراجات تحت الغطاء العظمي الخارجي؛ ولا بد أن الصديد قد وصل إلى هذا الغطاء من عظام الساق، وخرج على سطح الجلد في صورة قُرَح. وبناءً على مقدار نمو العظام حول موقع الإصابة، يبدو أنه من المحتمَل أن الحيوان قد عاش لمدة تصل إلى سنة وهو يعاني من هذه الإصابة التعجيزية، قبل نفوقه في النهاية. هذا، ولا تظهر على الهيكل العظمي المحفوظ أيُّ علامات على عدوى مرضية، ولا توجد إشارة إلى أي آثارٍ لأسنان أو أي نشاط آخَر للبحث بين أشلائه؛ لأن عظامه لم تكن مبعثرة.

لم يتم التعرُّف على وجود أورام في عظام الديناصورات إلا نادرًا، وأكثر عقبة تظهر عند محاولة دراسة تكرار ظهور الأورام السرطانية لدى الديناصورات، هي الحاجة إلى تدمير عظام الديناصورات من أجل الحصول على مقاطع للأنسجة، وهو بالطبع أمرٌ لا يروق لمديري المتاحف؛ لذا، ابتكر مؤخَّرًا بروس روتشيلد أسلوبًا لمسح عظام الديناصورات باستخدام الأشعة السينية والتنظير التألُّقي. تقتصر هذه التقنية على العظام التي يقل قطْرُها عن ٢٨ سنتيمترًا؛ ولهذا السبب فحَصَ أعدادًا ضخمة (أكثر من ١٠ آلاف) من فقرات الديناصورات؛ كانت هذه الفقرات مأخوذةً من كل مجموعات الديناصورات الكبرى من عدد كبير من المجموعات الموجودة بالمتاحف. واكتشف روتشيلد



شكل ٧-٢: عظام قصبة ساقٍ متعفِّنة ومتحجِّرة لأحد الديناصورات، أصبحت مشوَّهةً بالكامل.

أن الأورام السرطانية لم تكن نادرةً فحسب (أقل من ٠٫٢٪ حتى ٣٪)، وإنما اقتصرَتْ أيضًا على الهادروصوريات فقط.

إنَّ السبب في عدم انتشار الأورام على هذا النحو محيِّرٌ حقًّا. وبدأ روتشيلد يتساءل عما إذا كان النظام الغذائي للهادروصوريات له علاقة بهذا الوباء. تُظهِر الاكتشافاتُ النادرة للجثث «المُحنَّطة» للهادروصوريات تراكُمَ مادة في الأمعاء تحتوي على كميات كبيرة من الأنسجة الصنوبرية؛ حيث تحتوي هذه النباتات على تركيزات عالية من المواد الكيميائية المسبِّبة للأورام. وسواء كان هذا يقدِّم دليلًا على وجود قابلية وراثية لدى الهادروصوريات للأورام السرطانية، أو على وجود سبب بيئي (نظام غذائي مسبِّب لطفرات سرطانية)، فهو أمر مطروح للتفكير جملةً وتفصيلًا في الوقت الحالي.

النظائر

ثمة فرع آخر من العلوم يُعرَف باسم الجيوكيمياء، كان يستخدم النظائرَ المشِعَّة للأكسجين — خاصةً أكسجين-١٦ وأكسجين-١٨ — ونِسَبَها في المواد الكيميائية (الكربونات) الموجودة في أصداف الكائنات البحرية المجهرية؛ من أجل معرفة درجة حرارة المحيطات القديمة، ومن ثَمَّ معرفة الظروف المناخية الأوسع نطاقًا. الفكرة في الأساس أنه كلما زادت نسبة أكسجين-١٨ (مقارَنةً بأكسجين-١٦) المحبوس داخل المواد الكيميائية الموجودة في أصداف هذه الكائنات، كانت درجةُ حرارة المحيطات التي عاشت فيها هذه الكائنات في الأصل أكثرَ برودة.

في أوائل تسعينيات القرن العشرين، تعاوَنَ عالِمُ الحفريات ريس باريك مع عالِم الجيوكيمياء ويليام شاورز، من أجل رؤية إنْ كان من الممكن تطبيقُ الأمر نفسه على المواد الكيميائية في العظام — خاصةً الأكسجين الذي يشكِّل جزءًا من جزيء الفوسفات في معادن العظام. طبَّقوا أولًا هذا الأسلوبَ على بعض الفقاريات المعروفة (الأبقار والسحالي)، عن طريق أخذ عينات من العظام من أجزاء مختلفة من الجسم (الضلوع والأرجل والذيل)، وقاسوا نِسَب نظائر الأكسجين؛ وأظهرت نتائجهما وجودَ فرْقٍ طفيفٍ للغاية في درجة حرارة الجسم بين عظام الأرجل والضلوع لدى الثدييات ذات الدم الحار (الأبقار)؛ وكما كان متوقَّعًا تمامًا فهذا الحيوان يتمتع بدرجة حرارة جسم ثابتة. ومع ذلك، وجد العالِمان أن درجة حرارة ذيل السحلية تقل عن درجة حرارة ضلوعها بما يتراوح بين ٢ و٩ درجات مئوية؛ فلا يوجد توزيع متساوٍ لدرجة حرارة الجسم لدى

ذوات الدم البارد؛ إذ تكون الأجزاءُ الخارجية في المعتاد أكثر برودةً من أجزاء الجسم الداخلية.

بعد هذا، أجرى باريك وشاورز تحليلًا مشابهًا على عظام متنوعة من هيكل محفوظ جيدًا للتيرانوصور ريكس اكتُشِفَ في مونتانا؛ كشفت العينات التي أُخِذت بالمثقاب من عظام الضلوع والأرجل والأصابع والذيل عن نتيجة تشبه إلى حدٍّ ما خصائصَ الثدييات؛ فقد تفاوتَتْ نِسَبُ نظائر الأكسجين على نحو قليل للغاية، ممَّا يشير إلى وجود درجة حرارة متساوية إلى حدٍّ ما في جميع أجزاء الجسم، وقد استُخدِم هذا من أجل الترويج أكثر لفكرة أن الديناصورات لم تكن فقط ثابتةَ الحرارة، وإنما كانت أيضًا من ذوات الدم الحار. ويبدو أن الأبحاث الأخيرة لهذين الباحثين تؤكِّد اكتشافهما الأساسي، وبسطت نطاقَ هذه الملاحظات لتشمل عددًا من الديناصورات الأخرى منها الهادروصوريات.

كما هو الحال دومًا أثارت هذه النتائجُ نقاشًا حيويًّا؛ فقد ظهرت مخاوفُ من احتمال أن يكون التكوينُ الكيميائي للعظام قد تغيَّر في أثناء عملية التحجُّر، وهو ما سيجعل إشاراتِ النظائر لا معنى لها. إن علماء الدراسة الحيوية للحفريات المهتمين بالجانب الفسيولوجي لم يكونوا مقتنعين على الإطلاق بما تعنيه النتائج؛ فقد كانت الإشارةُ الدالة على ثبات درجة الحرارة متوافِقةً مع فكرة أن الديناصورات كانت كائنات ضخمة الجسم وذات درجة حرارة داخلية ثابتة (الفصل السادس)، ولا تقدِّم أيَّ دليل قاطع على كونها من ذوات الدم الحار أو الدم البارد.

من الواضح أن هذا النقاش يمثِّل مجموعةً من الاستفسارات المثيرة للاهتمام؛ وحتى الآن لا تزال النتائج غيرَ قاطعة، لكنها تقدِّم أساسًا للأبحاث المستقبلية.

أبحاث الديناصورات: ثورة المسح الضوئي

ظهر التطوُّر المستمر في الموارد التكنولوجية وإمكانية استخدامها في الإجابة عن تساؤلات علم الدراسة الحيوية للحفريات، في عددٍ من المجالات البارزة في السنوات الأخيرة، وسنعرض بعضًا منها في القسم التالي، وهي قد لا تخلو من أوجه القصور والصعوبات، لكن في بعض الأحيان أصبح من الممكن حاليًّا طرْحُ أسئلةٍ لم يكن أحدٌ يفكِّر فيها منذ ١٠ سنوات.

إحدى أصعب المعضلات التي واجهها علماءُ الدراسة الحيوية للحفريات، هي الرغبة في فحْصِ أكبر قدرٍ ممكن من أية حفرية جديدة، لكن في الوقت نفسه مع تقليل الضرر

الذي تتعرَّض له العينةُ إثر هذا العمل إلى أقصى حدٍّ. وعليه، فإن اكتشافَ إمكانية استخدام الأشعة السينية في صنع صور على فيلم فوتوغرافي للجسم من الداخل، كان له أهمية هائلة في العلوم الطبية. وفي ظل الثورة الحديثة في التصوير الطبي، عبر اختراع أساليب التصوير المقطعي المحوسب والتصوير بالرنين المغناطيسي، التي تتَّصل مباشَرةً بأجهزة كمبيوتر فعَّالة تعالج البيانات؛ أُتيحت القدرةُ على صنع صور ثلاثية الأبعاد تسمح للباحثين برؤية الأشياء من الداخل، مثل جسم الإنسان أو غيره من التكوينات الأخرى المعقَّدة، التي لم يكن من الممكن رؤيتها عادةً إلا بعد إجراء جراحة استكشافية كبيرة.

سرعان ما أُدرِكَت إمكاناتُ استخدام التصوير بالأشعة المقطعية في النظر إلى داخل الحفريات. أحد روَّاد هذا المجال هو تيم رو، الذي يعمل فريقُه في الأساس في جامعة تكساس في مدينة أوستن، وقد استطاع إنشاءَ أحدِ أنظمة التصوير بالأشعة المقطعية المخصَّصة للحفريات، ذي درجة الوضوح الأعلى والأكثر دقةً على الإطلاق، واستخدَمَه في عددٍ من أكثر الاستخدامات المثيرة للاهتمام، كما سنرى فيما يلي.

دراسة عُرْف الهادروصور

يظهر أحد الاستخدامات الواضحة للتصوير بالأشعة المقطعية، عند الإشارة إلى المجموعة الهائلة من الأعراف الموجودة على رءوس الهادروصوريات الأورنيثوبودية. انتشرت هذه الديناصورات بوفرة في أواخر العصر الطباشيري، وتشابهت أشكال أجسامها على نحو ملحوظ؛ كان الاختلاف الوحيد بينها في غطاء الرأس، لكن السبب في هذا الاختلاف ظلَّ لغزًا لوقت طويل. عندما وُصِف أول ديناصور له «غطاء رأس» في عام ١٩١٤، سادَ الاعتقاد في أن هذه ربما تكون سمات زخرفية مثيرة للاهتمام، إلا أنه اكتُشِف في عام ١٩٢٠ أن «أغطية الرأس» هذه — أو الأعراف — تتكوَّن من أغلفة رقيقة من العظام، تحتوي على تجاويف أنبوبية أو حجرات ذات تعقيد كبير.

ظهرت نظريات كثيرة تشرح الغرض من هذه الأعراف منذ عشرينيات القرن العشرين؛ ادَّعت أولاها على الإطلاق أن العُرْفَ كان عبارة عن منطقة لدعم الأربطة الممتدة من الكتفين حتى الرقبة التي تدعم الرأس الضخم الثقيل. ومنذ ذلك الحين، تفاوتتِ الأفكار من استخدامها كأسلحة، إلى كونها تحتوي على أعضاء شمٍّ متطوِّرة للغاية، وأنها كانت ذات صلة بالجنس (فالذكور لديها أعراف، أما الإناث فلا)، وكان أكثر الأفكار بُعْدًا

في النظر هو أن هذه الحجرات ربما كانت بمنزلة أجهزة رنَّانة، كما يُرَى لدى الطيور في العصر الحديث. في خلال فترة الأربعينيات من القرن العشرين، كان ثمة تفضيلٌ للنظريات المائية التي كانت ترى أن تلك الأعراف شكَّلَتْ محبسًا هوائيًّا يمنع غمْرَ الرئتين بالماء، عندما تتغذى هذه الحيوانات على الأعشاب الموجودة تحت سطح الماء.

طُرِحت أكثر الاقتراحات الغريبة جانبًا؛ نظرًا لاستحالتها من الناحية الجسدية أو لعدم توافُقها مع التشريح المعروف. أما الاقتراحات التي ظهرت، فهي أن هذه الأعراف ربما كانت تؤدِّي عددًا من الوظائف المتداخلة ذات الطابع الاجتماعي/الجنسي في الأساس؛ فربما كانت تقدِّم نظامَ تعرُّفٍ اجتماعيًّا بصريًّا للأنواع الفردية، وبالإضافة إلى هذا كان لبعض تفاصيل الأعراف دورٌ بالتأكيد في إظهار الجنس. كانت أعداد قليلة من أعراف الهادروصوريات قويةً بما يكفي لاستخدامها في أنشطة الضرب، إما بجانب الجسم، وإما بالرأس كجزء من الطقوس التي تسبق التزاوُج أو المسابقات التنافُسية بين الذكور. أخيرًا، يُعتقَد أن الحجرات والمناطق الأنبوبية المرتبطة بالأعراف أو ببنية الوجه، قد عملت كأجهزةٍ رنَّانة. مرةً أخرى، يمكن ربْطُ هذه القدرة الصوتية المزعومة (الموجودة حاليًّا لدى الطيور والتماسيح) لدى هذه الديناصورات بجوانب من سلوكها الاجتماعي.

من كبرى المشكلات التي ارتبطت بنظرية الرنين الصوتي، الوصولُ مباشَرةً إلى مادة الجمجمة، مما يسمح بإعادة تجميع مفصَّلة للممرات الهوائية الموجودة داخل العُرْف، دون كسر العينات الثمينة والمستخرجة بعناية. جعلت أساليبُ التصوير المقطعي مثل هذا الفحص الداخلي ممكنًا؛ على سبيل المثال: استُخرِجت بعض المواد الجديدة من الهادروصور المميَّز للغاية ذي العُرْف باراسورلوفس توبيكن؛ من رواسب تنتمي إلى أواخر العصر الطباشيري في نيومكسيكو. كانت الجمجمةُ مكتمِلةً إلى حدٍّ كبير ومحفوظةً جيدًا، واحتوت على عُرف طويل ومقوَّس. صُوِّرت الجمجمةُ بالأشعة المقطعية بطول العُرف، ثم عُولِجت الصورُ رقميًّا بحيث تظهر المساحة الموجودة داخل العُرف، بدلًا من تصوير العُرْف نفسه، وكشفت الصورةُ الناتجة للتجويف الداخلي قدرًا استثنائيًّا من التعقيد؛ إذ كوَّن العديد من الأنابيب المتوازية الضيقة مجموعةَ مجموعةَ حلقاتٍ مُحكَمة داخل العُرْف، فشكَّلت ما يشبه مجموعةً من آلات الترومبون. أصبح لا مجالَ حاليًّا للشك في أن تجاويف الأعراف، الموجودة لدى حيوانات مثل الباراسورلوفس، تمكَّنَتْ من تأدية وظيفةِ أجهزةِ الرنين كجزءٍ من جهازها الصوتي.

الأنسجة الرخوة: قلوب متحجِّرة

في أواخر تسعينيات القرن العشرين، اكتُشِف هيكل عظمي جزئي جديد لأورنيثوبود متوسط الحجم في أحجار رملية من أواخر العصر الطباشيري في ساوث داكوتا. تآكل جزء من الهيكل العظمي، لكنَّ الجزء المتبقي كان محفوظًا جيدًا ويحتوي على أدلة ما زالت واضحةً على بعض الأنسجة الرخوة، مثل الغضاريف، التي عادةً ما تُفقَد في أثناء عملية التحجُّر. وفي أثناء التحضير المبدئي للعينة، عُثِرَ على عُقَيْدة حديدية (غنية بالحديد) ضخمة في منتصف الصدر. ونظرًا لانبهار الباحثين بهذا التكوين، فقد حصلوا على إذنٍ بتصوير جزء كبير من الهيكل العظمي بالأشعة المقطعية، باستخدام ماسح ضخم يوجد في أحد المستشفيات البيطرية؛ وكانت نتائجُ هذا التصوير مذهلةً.

بَدَا أن العُقيدة الحديدية تتمتَّع بخصائص تشريحية مميَّزة، ووُجِدت بالقرب منها تكويناتٌ بَدَا أنها ذات صلة بها؛ فسَّر الباحثون هذا بأنه يشير إلى أن القلب وبعض الأوعية الدموية المرتبطة به قد حُفِظَا داخل هذه العُقيدة. ظهرت داخل العُقيدة حجرتان (فسَّرهما الباحثون على أنهما تمثِّلان البُطَيْنَيْن الأصليَّيْن للقلب)، وفوقهما بمسافة صغيرة تكوينٌ مقوَّس يشبه الأنبوب، فسَّروه على أنه الشريان الأورطي (أحد الشرايين الرئيسية التي تخرج من القلب). على هذا الأساس، اقترحوا أن هذا يوضح أن الديناصورات من هذا النوع كان لديها قلبٌ مقسَّم بالكامل يشبه جدًّا قلبَ الطيور، وهو ما دعمَ القناعةَ المتزايدة بأن الديناصورات كانت بوجهٍ عام حيواناتٍ عاليةَ النشاط تعتمد على الأكسجين (انظر الفصل السادس).

في وقت مبكر يرجع إلى عام ١٨٤٢، ومع التوقُّعات الاستثنائية لريتشارد أوين، افتُرِضَ أن الديناصورات والتماسيح والطيور لديها قلبٌ يحتوي على أربع حجرات (مقسَّمٌ بالكامل) يعمل بكفاءة نسبية. وعلى هذا الأساس، فإن هذا الاكتشاف لم يكن مفاجئًا؛ المذهل في الأمر هو فكرة أن الأنسجة الرخوة لقلب هذا الديناصور على وجه التحديد قد حُفِظت في ظل بعض ظروف التحجُّر الغريبة.

من المعروف أن حفظ النسيج الرخو يحدث في ظلِّ بعض الظروف الاستثنائية في السجل الحفري؛ تتمثَّل هذه الظروفُ بوجه عام في خليط من الرواسب البالغة النعومة (الطمي والطين) القادرة على حفظ آثار الأنسجة الرخوة. كذلك، فإن الأنسجة الرخوة — أو بالأحرى بقاياها المستبدلة كيميائيًّا — يمكن حفظها عن طريق الترسيب الكيميائي، الذي يحدث عادةً في ظل غياب الأكسجين. لم ينطبق أيٌّ من هذه الظروف على الهيكل

العظمي للأورنيثوبود السابق الذكر؛ فقد عُثِرَ على العينة داخلَ أحجار رملية خشنة، وتحت ظروف كانت غنيةً بالأكسجين؛ لذلك يبدو من غير المحتمَل على الإطلاق — من وجهة نظر جيوكيميائية بسيطة — أن تَحفظ هذه الظروفُ أيَّ نوعٍ من الأنسجة الرخوة.

لم يكن من المستغرب أن تتعرَّض ملاحظاتُ هؤلاء الباحثَين إلى الاعتراض. من الشائع العثور على عُقيدات من صخور الحديد في هذه الرواسب، وعادةً ما تظهر صلتُها بعظام الديناصورات. تعرَّضت الظروفُ الرسوبية، والبيئةُ الكيميائية التي ربما حُفِظت فيها هذه التكوينات، وتفسيرُ جميع السمات التي زُعِمت مشابهتُها لسمات القلب، إلى التفنيد؛ ومن ثمَّ، فإن وضع هذه العينة في الوقت الحالي غير مؤكَّد. لكن بصرف النظر عن أي مزاعم أخرى، إذا كانت هذه السمات ببساطة تنتمي إلى عُقيدة من صخور الحديد، فإنه من العجيب أن تشبه القلبَ على هذا النحو.

«ديناصورات طائرة» زائفة: دراسة حيوية للحفريات بأدوات الطبِّ الشرعي

في عام ١٩٩٩ ظهر مقال في مجلة ناشونال جيوجرافيك يلقي الضوء على أوجه الشبه بين الديناصورات والطيور، التي أظهرتها الاكتشافاتُ الحديثة في مقاطعة لياونينج في الصين. كشف المقال النقابَ عن عينة جديدة ومثيرة أُطلِق عليها اسم أركيورابتور، تمثَّلت في هيكل عظمي شبه مكتمِل، بَدَا تمامًا مثل أي «ديناصور طائر» وسيط يمكن للمرء تخيُّله؛ فقد كان لهذا الحيوان جناحان وعظامُ صدر تشبه تمامًا ما نجده في الطيور، إلا أنه احتفظ برأس ورِجْلين وذيل طويل متصلِّب على غرار الموجود لدى الثيروبودات.

احتفلت ناشونال جيوجرافيك في البداية بهذه العينة في احتفالات عامة، لكنْ سرعان ما أُثير جدلٌ حولَ هذه العينة، التي كان قد اشتراها متحفٌ يقع في يوتا من معرض للحفريات أُقيمَ في توسون في ولاية أريزونا، على الرغم من أن مصدرها الواضح كان الصين. وهذا أمر غريب للغاية؛ لأن الحكومة الصينية تعتبِر كلَّ الحفريات ذات القيمة العلمية ملكيةً خاصة للصين.

أصبحت هذه العينة موضعَ شكٍّ المجتمع العلمي؛ فقد كان النصف الأمامي من الجسم يشبه الطيور كثيرًا مقارَنةً بكلٍّ من الرجلين والذيل التي تشبه الثيروبودات. كذلك، كان سطح الحجر الجيري الذي حُفِظت فوقه هذه العينة غريبًا؛ فقد كان يتكوَّن من مجموعة من البلاط الصغير، يشبه المُستخدَم في طريقة الرصف ببلاط غير منتظم مثبَّت بكمٍّ كبير من الحشو (انظر الشكل ٧-٣). وفي غضون فترة قصيرة نسبيًّا، أُعلِن أنه

من المحتمَل أن تكون زائفةً؛ وربما صُنِعت بحسب الطلب من قِطَع احتياطية متنوِّعة عُثِرَ عليها في لياونينج. ووسط جوِّ التوتر العام، اتصل مديرُ متحف يوتا بعالِمَيْن من علماء الحفريات عَمِلَا على هذه النماذج الصينية، وهما فيليب كوري من متحف تيريل الملكي في مقاطعة ألبرتا، وشوز ينج من بكين في الصين، كما اتصل بتيم رو في تكساس لمعرفة إن كان باستطاعته إجراء تصوير بالأشعة المقطعية والتأكُّد من طبيعة هذه الحفرية.

عندما عاد شو إلى الصين اكتشف — بمصادفة مذهلة — مكانَ قطعة من الصخور من لياونينج تحتوي على معظم أجزاء دروما يوصور ثيروبودي، وبعد دراسته هذه العينةَ، أصبح مقتنِعًا أن ذيل هذه الحفرية هو النظير المطابق للذيل الذي رآه مؤخرًا لدى الأركيورابتور؛ وعندما عاد إلى واشنطن، وإلى مكتب ناشونال جيوجرافيك، استطاع شو مقارَنةَ حفريته التي اكتشفها حديثًا بعينة «الأركيورابتور»، وأظهر أن قالب الأركيورابتور الأصلي كان بلا شكٍّ مركَّبًا يتكوَّن «على الأقل» من حيوانَيْن مختلفين؛ فالنصف الأمامي كان جزءًا من طائر حقيقي، والنصف الخلفي كان جزءًا من دروما يوصور ثيروبودي.

عندما تغيَّرَ الأمر على هذا النحو، تمكَّنَ رو من دراسة صورة الأشعة المقطعية التي أخذها لبلاط الأركيورابتور الأصلي بالتفصيل. لا تستطيع الأشعةُ المقطعية التمييزَ بين الحفريات الحقيقية والزائفة؛ ومع هذا، فقد سمحَتْ دقةُ الصور الثلاثية الأبعاد لكلِّ جزءٍ من اللوح بمقارَنةِ كلِّ قطعة من العينة، وأصبح من الواضح أن الجزء الرئيسي من اللوح كان لحفرية طائر جزئية، بالإضافة إلى عظام أرجل وقدمين لديناصور ثيروبودي؛ وقد تمكَّنَ رو وزملاؤه من إظهار أن عظمة ساق واحدة وقدم واحدة فقط هي التي استُخدِمت. وفي هذه الحالة، قُسِّم الجزء والجزء المقابل له إلى نصفين لصنع الساقين والقدمين! في النهاية، أُضِيف ذيل الثيروبود، ولاستكمال «الصورة»، أُضِيفت قِطَعُ رصف إضافية وحَشْو لتكوين شكلٍ مستطيلٍ ذي جاذبية بصرية أعلى.

لم يكن لهذه الاكتشافات المثيرة أيُّ تأثير على الإطلاق في النقاش الدائر حول العلاقات بين الديناصورات والطيور، لكنها أشارت إلى بعض الحقائق المؤسفة؛ ففي الصين، حيث ساعَدَ العمَّال الذين يتقاضون أجورًا زهيدةً في استخراج بعضٍ من الحفريات الرائعة بالفعل، اتضح أنه قد أصبح لديهم معرفة جيدة بعلم التشريح، وفهم لأنواع الكائنات التي يبحث عنها العلماء. يدرك أيضًا هؤلاء العمَّال وجودَ سوق مزدهرة لهذه الحفريات، يمكنها أن تحقِّق لهم مكاسبَ ماليةً أفضل بكثير إذا استطاعوا بيْعَ هذه الحفريات لتجَّارٍ من خارج الصين.



مفتاح النموذج

الكثافة النسبية

عظام

بلاط

هواء

مفتاح الخريطة

عظام

عظام طائر متصلة

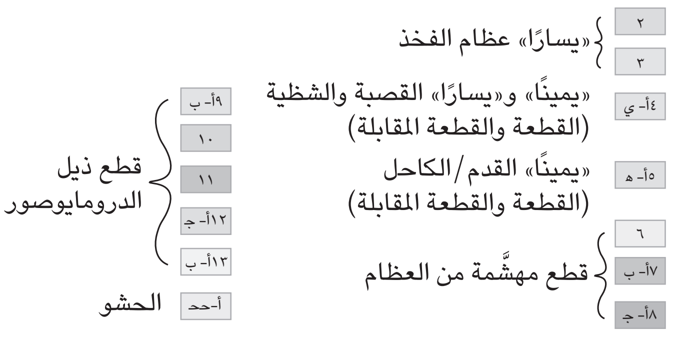
عظام «متصلة» لا يمكن التأكد منها

قطع ملحقة

١أ-ع قطع ملحقة موجودة في مكانها الطبيعي

(أ) صورة بالأشعة السينية للحفرية

شكل ٧-٣: «الأركيورابتور» الزائف على صخرته المكوَّنة من مجموعة من البلاط.



قطع لا يمكن التأكُّد منها

٢، ٣	«يسارًا» عظام الفخذ
٤أ- ي	«يمينًا» و«يسارًا» القصبة والشظية (القطعة والقطعة المقابلة)
٥أ- ه	«يمينًا» القدم/الكاحل (القطعة والقطعة المقابلة)
٦، ٧أ- ب، ٨أ- ج	قطع مهشَّمة من العظام
٩أ- ب، ١٠، ١١، ١٢أ- ج، ١٣أ- ب	قطع ذيل الدروما يوصور
أ-حح	الحشو

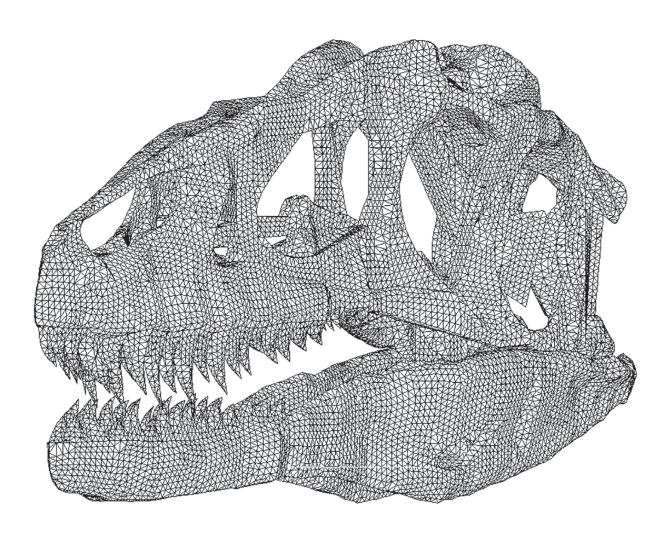
(ب) خريطة لسطح البلاط

آليات الديناصورات: طريقة تناوُل الألوصور لطعامه

أثبت التصوير المقطعي المُحوسَب بوضوح أنه إحدى أدوات المساعدة القيِّمة للغاية في أبحاث الدراسة الحيوية للحفريات؛ لأن لديه القدرةَ على رؤية ما بداخل الأشياء بطريقة تكاد تقترب من السحر. اخترعت إميلي رايفيلد وزملاؤها بعض الطرق التكنولوجية المبتكرة لاستخدام التصوير بالأشعة المقطعية في جامعة كامبريدج. وباستخدام صور الأشعة المقطعية، وبرامج كمبيوتر متطورة، وكمٍّ كبيرٍ من المعلومات الحيوية والخاصة بالدراسة الحيوية للحفريات، ثبتَتْ إمكانية فحْصِ الطريقة التي ربما كانت الديناصورات تتصرَّف بها أثناء حياتها.

كما هو الحال مع التيرانوصور، نعلم بوجه عام أن الألوصور (الشكل ٤-٤) كان كائنا مفترسًا، وربما كان يتغذَّى على عدد كبير من الفرائس التي عاشت في أواخر العصر الجوراسي. أحيانًا كانت تُكتشَف آثارُ أسنانٍ أو خدوشٍ على عظام متحجرة، وتتطابق هذه العلامات فعليًّا مع الأسنان الموجودة في فك الألوصور، لتكون «دليلَ» إدانةٍ يثبت مسئوليتَه عن هذا الفعل. لكن ما دلالة هذا الدليل؟ الإجابة أن دلالته لم تكن بالقدر الذي أردناه؛ فلا يمكننا التأكُّد إن كانت آثار الأسنان هذه نتجت عن التغذِّي على أحد الحيوانات النافقة بالفعل، أو أن الحيوان الذي تركها كان هو القاتل الحقيقي، وبالمثل، لا يمكننا تحديد أسلوب الألوصور بوصفه حيوانًا مفترسًا؛ فهل كان يجري وينقضُّ على فريسته عقب مطاردتها لوقت طويل، أم كان يختبئ ثم ينقضُّ؟ وهل كانت عضَّتُه تهشِّم العظامَ، أم كانت تُقطِّع وتُشرِّح؟

تمكنت رايفيلد من الحصول على بيانات المسح بالأشعة المقطعية، الذي أُجرِي على جمجمة محفوظة جيدًا على نحو استثنائي لألوصور ثيروبودي من أواخر العصر الجوراسي. استُخدِمت الصورُ ذاتُ درجة الوضوح العالية للجمجمة، من أجل صنع صورة ثلاثية الأبعاد مفصَّلة للغاية للجمجمة بأكملها؛ ومع هذا، بدلًا من مجرد صنع صورة رائعة تشبه الصور المجسمة للجمجمة، حوَّلت رايفيلد بيانات الصورة إلى «شبكة» ثلاثية الأبعاد. وتكوَّنَتْ هذه الشبكة من مجموعة من الإحداثيات النُّقَطيَّة — تشبه إلى حدٍّ ما الإحداثياتِ الموجودةَ على خريطةٍ للتضاريس — ارتبطت كلُّ نقطة فيها بالنقاط المجاورة لها مباشَرةً عن طريق «عناصر» قصيرة؛ فكوَّن هذا ما يُعرَف بالمصطلحات الهندسية باسم خريطة العناصر المنتهية للجمجمة بأكملها (الشكل ٤-٧)؛ ولم يسبق لأي شخص قطُّ أنْ حاوَلَ إعدادَ شيء بمثل هذا التعقيد من قبلُ.



شكل ٧-٤: صورة بطريقة العناصر المنتهية لجمجمة ألوصور مأخوذة من مسح بالأشعة المقطعية.

السمة المميزة لهذا النوع من النماذج أنه مع وجود الكمبيوتر والبرامج المناسبة يمكن تسجيل السمات المادية لعظام الجمجمة، مثل قوة عظام الجمجمة ومينا الأسنان، أو السمات المادية للغضاريف الموجودة على المفاصل بين العظام؛ على خريطةٍ للعناصر المنتهية. بهذه الطريقة، يمكن دفع كل «عنصر» للتصرف كأنه جزء من الجمجمة الحقيقية، ويتصل كل عنصر بالعناصر المجاورة له كوحدة متكاملة، تمامًا كما يحدث في الحياة.

بعد رسم خريطة للجمجمة الافتراضية لهذا الديناصور، أصبح من الضروري معرفة مدى قوة عضلات فكِّه عندما كان على قيد الحياة، وباستخدام الصلصال تمكَّنَتْ رايفيلد فعليًّا من صنع نموذج لعضلات فكِّ هذا الديناصور؛ وبمجرد فعلها هذا، استطاعت أن تحسب من أبعادها — طولها وحجمها وزاوية التصاقها بعظام الفك — مقدارَ القوة التي قد تولِّدها. ومن أجل التأكُّد من أن هذه الحسابات واقعية قدر المستطاع، أُنشِئت مجموعتان لحساب القوة: تعتمد إحداهما على فكرة أن التكوين الفسيولوجي لديناصورات مثل هذا النوع كان يشبه إلى حدٍّ ما التكوين الفسيولوجي للتمساح

(من ذوي الدم البارد)، أما الأخرى فقد افترضت أن التكوين الفسيولوجي له يشبه التكوين الفسيولوجي للطيور/الثدييات (من ذوات الدم الحار).

باستخدام هاتين المجموعتين من البيانات، أصبح من الممكن إضافة هذه القوى إلى نموذج العناصر المنتهية لجمجمة الألوصور، و«اختبار» مدى استجابة الجمجمة فعليًّا لقوى العضِّ القصوى، وكيف تُوزَّع هذه القوى داخل الجمجمة. كان الغرض من هذه التجارب فحص بنية الجمجمة وشكلها، وطريقة استجابتها للضغوط المتعلقة بتناول الطعام.

كانت النتائج مذهلة! فقد كانت الجمجمة قوية على نحو استثنائي (على الرغم من كل الثقوب الضخمة المنتشرة على سطحها، التي قد يُعتقَد أنها أضعفتها كثيرًا)؛ ففي الواقع، ثبت أن هذه الثقوب كانت جزءًا مهمًّا من قوة الجمجمة. وعندما أُجري الاختبار على الجمجمة الافتراضية إلى أن بدأت «تستسلم» (بمعنى تعرُّضها إلى قوًى تجعل عظامَها تبدأ في التكسُّر)، ظهر أنها قادرة على تحمُّل حتى ٢٤ ضعفَ القوة التي تستطيع عضلاتُ الفك ممارستها عندما تعضُّ بأقصى قوة يمكن لألوصور ممارستها.

لقد أوضحَتْ هذه التجربة أن جمجمة الألوصور شديدةُ التعقيد دون داعٍ. عادةً ما يوفر الانتقاءُ الطبيعي «عاملَ أمان» في تصميم معظم سمات الهيكل العظمي؛ أيْ نوعًا من الموازنة بين مقدار الطاقة والمواد اللازمة لبناء هذا الجزء من الهيكل العظمي، وبين قوته العامة في ظلِّ ظروف الحياة الطبيعية. يتفاوت «عامل الأمان»، لكنه بوجهٍ عام يتراوح بين ٢ و٥ أضعاف القوى التي يتعرَّض لها الجزء في خلال أنشطة الحياة الطبيعية؛ وبَدَا من غير الطبيعي أن تكون جمجمةُ الألوصور مشتملةً على «عامل أمان» يصل إلى ٢٤ ضِعفًا. وقد أدَّتْ إعادةُ فحْصِ الجمجمة، وإعادة التفكير في طرقه المحتملة في تناول الطعام، إلى الملاحظة التالية: كان الفكُّ السفلي في الواقع «ضعيفًا» إلى حدٍّ كبير في طريقة تكوينه؛ لذا كانت عضةُ هذا الحيوان في الحقيقة ضعيفةً مقارَنةً بالقوة العامة لجمجمته. أشار هذا إلى أن الجمجمة كانت مصمَّمةً لتحمُّل قوًى كبيرة للغاية (أكثر من ٥ أطنان) لأسباب أخرى؛ أبرز هذه الأسباب أن الجمجمة ربما كانت تُستخدَم كسلاح أساسي في الهجوم؛ أيْ كأداة للقطع، فربما كانت هذه الحيوانات تندفع نحو فريستها وفكُّها مفتوحٌ على مصراعَيْه، ثم تُطْبِق رأسَها على الفريسة في ضربة مدمِّرة قاطعة. ونظرًا لأن هذه الحركة تكون مدفوعةً بوزن الجسم كله، ومع مقاومة الفريسة، فلا بد

أن تكون لدى الجمجمة القدرةُ على تحمُّل الأحمال القصيرة المدى، التي تكون مع ذلك شديدةً للغاية.

بمجرد إخضاع الفريسة عقب الهجوم الأول، يمكن استخدام الفكَّيْن في قضم قِطَع من اللحم وفصلها بالطريقة التقليدية، لكن من المنطقي أن يُستعان بالرجلين والجسم من أجل شدِّ قِطَع اللحم المستعصية، ومرةً أخرى يشكِّل هذا عبئًا كبيرًا للغاية على الجمجمة من خلال القوى التي تولِّدها عضلاتُ الرقبة والظهر والرجلين.

من خلال هذا التحليل، أصبح من الممكن تكوين فكرة عن «الطريقة» التي ربما كان الألوصور يتناول بها طعامَه، بطرقٍ لم يكن من الممكن لأحد أن يتخيَّلها حتى بضع سنوات مضت. لكن مرةً أخرى أمكن استخدام التفاعل بين التقنيات الحديثة وفروع العلم المختلفة (في هذه الحالة، التصميم الهندسي) من أجل بحث مشكلات علم الدراسة الحيوية للحفريات، والتوصُّل إلى ملاحظات جديدة ومثيرة للاهتمام.

الأنسجة والجزيئات الحيوية القديمة

لا أستطيع إنهاءَ هذا الفصل دون التطرُّق إلى سيناريو فيلم «الحديقة الجوراسية»؛ من حيث اكتشاف الحمض النووي للديناصورات، واستخدام التكنولوجيا الحيوية الحديثة في إعادة تكوين هذا الحمض النووي، واستخدام هذا في إعادة الديناصور إلى الحياة.

ظهرت تقاريرُ متفرِّقة عن اكتشاف أجزاء من الحمض النووي للديناصورات في مؤلَّفات علمية على مدار العقد الماضي، ثم استخدام التقنية الحيوية «تفاعل البوليميراز المتسلسل» في تكبير الأجزاء بحيث يمكن دراستها بيُسْرٍ أكبر. ومع الأسف، بالنسبة إلى مَنْ يرغبون في تصديق السيناريو الهوليوودي، لم تتأكَّد على الإطلاق صحة أيٍّ من هذه التقارير، وفي الحقيقة من غير المحتمَل إطلاقًا عزل أي حمض نووي حقيقي لديناصور من عظامه؛ فالأمر ببساطة أن الحمض النووي عبارة عن جزيء حيوي طويل ومعقَّد يتحلَّل بمرور الوقت مع غياب آلية الأيض التي تحافِظ عليه وتُصلِحه، كما يحدث داخل الخلايا الحية. لذا، فإن فُرَص هذه المادة في البقاء دون تغيُّر لأكثر من ٦٥ مليون سنة، وهي مدفونة داخل الأرض (وعُرضة لكل مخاطر التلوث التي تمثِّلها الكائنات المجهرية وغيرها من المصادر الحيوية والكيميائية، والمياه الجوفية)؛ معدومةٌ فعليًّا.

لقد ثبت أن كل التقارير الموضوعة عن حمض الديناصورات النووي حتى وقتنا هذا، هي تسجيل لأحماض نووية دخيلة. وفي الواقع، فإن حفريةَ الحمض النووي الوحيدة

الموثوق بها التي تعرَّفَ عليها العلماءُ، حديثةٌ للغاية، وحتى هذه الاكتشافات أصبحت متاحةً بسبب ظروف الحفظ الاستثنائية؛ على سبيل المثال: إن حفريات الدب البني الذي ترجع بقاياه إلى نحو ٦٠ ألف سنة، استُخرِجت منها سلاسلُ قصيرةٌ من حمض نووي لميتوكوندريا، لكن هذه الحفريات كانت قد تجمَّدت في طبقة متجمِّدة عميقة منذ وفاة هذه الحيوانات، مما وفَّرَ أفضلَ فرصةٍ لتقليل معدَّل تحلُّل الجزيئات؛ أما بقايا الديناصورات، فهي بالطبع أقدم بنحو ألف مرة من هذه الدِّببة البنية القطبية. وبالرغم من أنه ربما يمكن التعرُّف على بعض الجينات التي تشبه جينات الديناصورات، في الحمض النووي للطيور الموجودة حاليًّا، فإن إعادة إحياء الديناصورات تتخطَّى حدودَ العلم.

تتعلَّق مجموعة أخيرة من الملاحظات — وإن كانت مثيرة جدًّا للاهتمام — بتحليل شكل الجزء الداخلي لبعض عظام التيرانوصور المُستخرَج من مونتانا، وتكوينها الكيميائي. تمكَّنت ماري شفايتسر وزملاؤها من جامعة ولاية نورث كارولينا، من الوصول إلى بعض عظام التيرانوصور ريكس المحفوظة جيدًا على نحوٍ استثنائي، وهي التي استخرَجَها جاك هورنر (التجسيد الواقعي لشخصية «دكتور آلن جرانت» في فيلم الحديقة الجوراسية). وأشار الفحص المفصَّل لبقايا الهيكل العظمي إلى وجود تغيُّر طفيف للغاية في التكوين الداخلي للعظام الطويلة؛ في الواقع لم تكن قد تغيَّرت على الإطلاق، لدرجة أن كثافة العظام الفردية للتيرانوصور كانت تشبه كثافةَ العظام الحديثة التي تُرِكت ببساطة لتجفَّ.

كانت شفايتسر تبحث عن جزيئات حيوية قديمة، أو على الأقل الإشارات الكيميائية المتبقية التي ربما تركتها وراءها. وهكذا بعد أن استخلصت المادة من داخل العظام، طحنتها وأجرت عليها كمًّا كبيرًا من التحليلات الفيزيائية والكيميائية والحيوية؛ لم تكن الفكرة وراء هذا الأسلوب مجرد الحصول على أفضل فرصة «لالتقاط» بعض الآثار، وإنما أيضًا الحصول على طيف من الأدلة شبه المستقلة التي تؤيِّد الإشارة، إذا صدرَتْ. في الواقع، يتحمَّل الباحثُ دومًا عبءَ العثور على بعض الأدلة الإيجابية على وجود مثل هذه الجزيئات الحيوية؛ فالوقت الطويل المنقضي منذ وفاة الكائن ودفنه، والاحتمال الغالب بأن تكون بقايا مثل هذه الجزيئات قد دُمِّرت بالكامل أو جُرِفَت، قد يكون لهما أثر بالغ. أظهر كلٌّ من الرنين المغناطيسي النووي والرنين المغزلي للإلكترون وجودَ بقايا جزيئية تشبه الهيموجلوبين (المكوِّن الكيميائي الأساسي لخلايا الدم الحمراء)؛ ونتجت

عن التحليل الطيفي والكروماتوجرافيا السائلة العالية الأداء، بياناتٌ تتفق أيضًا مع وجود بقايا لتكوين مادة الهيم. أخيرًا، غُسِلت أنسجةُ عظام الديناصور بمواد مذيبة لاستخراج أجزاء البروتين المتبقية، ثم حُقِنت فئرانُ التجارب بهذه المادة المستخلَصة، لرؤية ما إذا كانت ستؤدِّي إلى صدور استجابةٍ مناعية، وهذا ما حدث؛ فقد تفاعَلَ المصلُ المضاد الذي صنعَتْه الفئرانُ على نحوٍ إيجابي مع الهيموجلوبين المنقَّى للطيور والثدييات. ويبدو من هذه المجموعة من التحليلات وجودُ احتمالٍ كبير أن تكون البقايا الكيميائية لمركبات الهيموجلوبين لدى الديناصورات قد حُفِظَت داخل أنسجة التيرانوصور ريكس هذه.

الاكتشاف الأكثر إثارةً هو أنه عندما فُحِصت مقاطعُ رفيعة من أجزاء من العظام تحت المجهر، ظهرت تكوينات مجهرية صغيرة ومستديرة داخل القنوات الوعائية (الأوعية الدموية) الموجودة داخل العظام؛ وعند تحليل هذه التكوينات المجهرية اتضح أنها غنية بالحديد على نحوٍ ملحوظ مقارَنةً بالأنسجة المحيطة بها (الحديد هو المكوِّن الرئيسي لجزيء الهيم)، وكذلك كان حجمها وشكلها العام يشبهان إلى حدٍّ كبير خلايا دم الطيور ذات النواة. وعلى الرغم من أن هذه التكوينات ليست خلايا دم حقيقية، فإنها تبدو بالتأكيد مثل «نماذج شاحبة» معدَّلة كيميائيًّا للخلايا الأصلية. وتظل كيفية بقاء هذه التكوينات على هذه الحالة طوال ٦٥ مليون سنة لغزًا كبيرًا.

بالإضافة إلى ذلك، تمكَّنَتْ شفايتسر وزملاؤها — باستخدام تقنيات التحصين المشابهة المذكورة آنفًا — من اكتشاف بقايا جزيئية حيوية لبروتينات «صلبة» تُسمَّى الكولاجين (المكوِّن الرئيسي للعظام الطبيعية، والأربطة والأوتار) والكرياتين (المادة التي تكوِّن الحراشف والريش والشعر والمخالب).

على الرغم من تعامل المجتمع البحثي بأكمله مع هذه النتائج بقدر كبير من الشك — ولديهم الحقُّ في ذلك للأسباب المذكورة سابقًا — فإن كمَّ المنهجيات المستخدَمة في دعم هذه الاستنتاجات، والحذرَ الشديد الذي أُعلِنت به هذه الملاحظات، يمثِّلان نموذجًا يُحتذَى به في الوضوح وتطبيق المنهجيات العلمية في مجال الدراسة الحيوية للحفريات.

الفصل الثامن

مستقبل البحث في الماضي

الانقراض الطباشيري-الثلاثي: نهاية الديناصورات

منذ العقود الأولى في القرن التاسع عشر، عُرِفَ أن مجموعات مختلفة من الكائنات كانت لها السيطرة والسيادة في فترات مختلفة من تاريخ الأرض، وكانت الديناصورات إحدى أبرز هذه المجموعات. وقد أكَّدت الدراساتُ الحفرية باستمرار على عدم إمكانية العثور على أي ديناصور على الإطلاق في صخور أحدث من نهاية العصر الطباشيري (منذ ٦٥ مليون سنة تقريبًا). في الواقع، أصبح من المعروف أن نهاية العصر الطباشيري، المؤدِّية إلى العصر الثلاثي (فيما يُشار إليه عالميًّا في الوقت الحالي باسم الفاصل الزمني بين العصرَيْن الطباشيري والثلاثي)، شهدَتْ تغيُّرًا كبيرًا؛ فقد انقرضت أنواع كثيرة وحلَّت محلها في أوائل العصر الثلاثي مجموعةٌ متنوعة من أشكال الحياة الجديدة؛ ومن ثَمَّ يبدو أن الفاصل الزمني بين العصرين الطباشيري والثلاثي يمثِّل علامةً فاصلةً في الحياة وشهدَ حدوثَ انقراض ضخم. كان من بين الأنواع التي أصبحت منقرضةً في هذا الوقت، الديناصوراتُ الخرافية الموجودة على سطح الأرض، التي ظهر منها كثيرٌ من الأنواع المختلفة في أواخر العصر الطباشيري، وكثيرٌ من الكائنات البحرية التي تتراوح بين الزواحف البحرية العملاقة (الموزاصورات والبَلصورات والإكتيوصورات)، والأمونيتات المتوافرة بكثرة، بالإضافة إلى كمٍّ هائل من الكائنات الطباشيرية البلانكتونية، في حين اختفت من الهواء وإلى الأبد الزواحفُ الطائرة (التيروصورات) والطيورُ التي من عائلة الإنانتيورنيثين.

من الواضح أنه كان لا بد من محاولة فهم السبب وراء هذه الخسارة الفادحة لشكل مهم من أشكال الحياة في ذلك الوقت. كما كان الجانب الآخَر من هذا السؤال العام على القدر نفسه من الأهمية: لماذا بقيت بعض الكائنات على قيد الحياة؟ ففي النهاية، نَجَتِ

الطيور الحديثة، وكذلك الثدييات والسحالي والثعابين والتماسيح والسلاحف والأسماك ومجموعة كاملة من الكائنات البحرية، هل كان هذا مجرد حظٍّ؟ حتى عام ١٩٨٠، تفاوَتَ معظم النظريات التي طُرحت لتفسير حالات الانقراض والبقاء التي حدثت بين العصرين الطباشيري والثلاثي؛ بين نظريات عظيمة وأخرى تافهة.

دارت واحدةٌ من أكثر النظريات رسوخًا في الفترة السابقة على عام ١٩٨٠، حول دراسات مفصَّلة عن التكوين البيئي لأقرب المناطق الزمنية إلى الفاصل الزمني بين العصرين الطباشيري والثلاثي. أشار إجماعُ الآراء إلى حدوث تحوُّلٍ بشكل تدريجي إلى ظروف مناخية متغيِّرة/موسمية على نحوٍ أكبر في نهاية العصر الطباشيري، وانعكس هذا في انخفاض أعداد الحيوانات والنباتات الأقل قدرةً على التكيُّف مع الظروف المناخية الأكثر إجهادًا. ارتبط هذا — على نحوٍ غير قاطع إلى حدٍّ ما — بالتغيُّرات التكتونية التي حدثت قُرْبَ نهاية العصر الطباشيري؛ وضمَّتْ هذه التغيُّراتُ ارتفاعًا ملحوظًا في مستوى سطح البحر، وزيادةً كبيرةً في انفصال القارات؛ ومن ثَمَّ، ساد الانطباعُ العام بأن شكل العالم كان يتغيَّر ببطء، وانتهى هذا أخيرًا بالتحوُّل الهائل في الحياة الحيوانية والنباتية. ومن الواضح أن مثل هذه التفسيرات تقتضي جدولًا زمنيًّا أطول من أجل وقوع حدث الانقراض، لكن نقطة الضعف هي أن هذا لم يكن يفسِّر بالقدر الكافي التغيُّراتِ المتزامنةَ التي حدثت في الكائنات البحرية. وفي ظل غياب بيانات أفضل جودةً، احتدمَتِ النقاشات وخَبَتْ دون التوصُّل إلى جزم واضح.

في عام ١٩٨٠، حدثت ثورةٌ في هذا المجال البحثي بالكامل على يد عدد من الأشخاص، من بينهم عالِمُ فلكٍ يُدعَى لويس ألفاريز؛ كان ابنه والتر — الاختصاصي في علم الدراسة الحيوية للحفريات — يدرس التغيُّراتِ في تنوُّع العوالق في الفاصل الزمني بين العصرين الطباشيري والثلاثي، وبَدَا من المنطقي أن يفترض أن الفترة بين نهاية الطباشيري وأوائل الثلاثي، ربما تمثِّل ببساطةٍ فترةً طويلة بعض الشيء من الزمن «المفقود»؛ فتمثِّل بذلك فجوةً حقيقية في تتابُع السجل الحفري. ولمساعدة والتر في دراساته عن التغيُّرات في العوالق في هذه الفترة المهمة من تاريخ الأرض، اقترح لويس أن يقيس مقدار الغبار الكوني المتراكم في رواسب هذا الفاصل، حتى يتمكَّن من تقدير مدى هذه الفجوة الجيولوجية المزعومة. وصدمت نتائجُهما عالَمَ الدراسات الحفرية والجيولوجية على حدٍّ سواء؛ إذ اكتشفَا أن طبقة هذا الفاصل، التي تمثَّلت في شريط رفيع من الطمي، احتوَتْ على كميات ضخمة من الحطام الكوني الذي لا يمكن تفسيرُه إلا باصطدام نيزك ضخم

واختفائه على الفور عقب حدوث الاصطدام؛ وقد قدَّرَا أن قُطْر هذا النيزك ما كان ليقل عن ١٠ كيلومترات على الأقل. وبالتفكير في تأثير اصطدام مثل هذا النيزك العملاق، اقترحَا أيضًا أنه ربما قد غطَّتِ الأرضَ بالكامل سحابةٌ هائلة من الحطام (تحتوي على بخار الماء وجزيئات الغبار)، ظهرت عقب الاصطدام واستمرت لفترة طويلة من الوقت، ربما لعدة أشهر أو حتى سنة أو سنتين؛ وربما أَدَّتْ تغطيةُ الأرض على هذا النحو إلى إيقاف عملية التمثيل الضوئي لدى النباتات الأرضية والعوالق، وأدَّت في الوقت نفسه إلى انهيار النُّظُم البيئية الأرضية والمائية. وهكذا، بضربة واحدة، بَدَا أن عائلة ألفاريز وزملاءهم قد توصَّلوا إلى تفسير موحَّد لحدث الانقراض الذي وقع في الفاصل الزمني بين العصرين الطباشيري والثلاثي.

كحال كل النظريات الجيدة، نتج عن فرضية الارتطام كَمٌّ هائل من الأبحاث؛ فطوال فترة الثمانينيات من القرن العشرين، تمكَّنت مجموعاتٌ متزايدة من الباحثين من العثور على الحطام الكوني، وإشاراتٍ للارتطام العنيف في رواسب تنتمي إلى الفاصل الزمني بين العصرين الطباشيري والثلاثي من جميع أنحاء العالم. وفي أواخر فترة الثمانينيات من القرن العشرين، اتجه اهتمامُ عدد من العمَّال نحو منطقة الكاريبي؛ فقد أظهرت التقاريرُ أن الرواسب المتراكمة الموجودة على بعض جزر الكاريبي، مثل هاييتي، التي تنتمي لهذا الفاصل، لا تظهر فيها فقط إشارةٌ للارتطام، وإنما توجد فوقَها مباشَرةً طبقةٌ ضخمة سميكة من البريشيا؛ وهي عبارة عن كتل متكسِّرة من الصخور الْتَصقت معًا. حثَّ هذا، بالإضافة إلى السُّمْك الهائل لطبقة حطام النيزك وصفاتها الكيميائية، على اقتراح أن هذا النيزك سقط في مكانٍ ما في مياه البحر الضحلة في هذه المنطقة. وفي عام ١٩٩١، صدر إعلانٌ عن اكتشاف الباحثين حفرةً ضخمة نتجت عن ارتطام النيزك تحت سطح الأرض في شبه جزيرة يوكاتان في المكسيك، وأطلقوا عليها اسم «تشيكسولوب». غطَّت هذه الفوهةَ رواسبُ عمرها ٦٥ مليون سنة، ولم يكن من الممكن رؤيتها إلا من خلال دراسة الأصداء الزلزالية للقشرة الأرضية (يشبه إلى حدٍّ ما مبدأ استخدام الرادار تحت سطح الأرض). بَدَا أن عرْضَ الفوهة يبلغ ٢٠٠ كيلومتر تقريبًا، وتزامنَتْ مع تكوُّن طبقة الفاصل الزمني بين العصرين الطباشيري والثلاثي؛ وبهذا تأكَّدَتْ نظريةُ ألفاريز بشكل جليٍّ.

منذ أوائل تسعينيات القرن العشرين، تحوَّلَتْ دراسة حدث الانقراض الذي وقع بين العصرين الطباشيري والثلاثي، بعيدًا عن الأسباب — التي بَدَا في هذا الوقت أنها قد

أُقِرَّت — إلى محاولة ربط حالات الانقراض التي حدثت في هذا الوقت بحدث كارثي واحد. إن أوجهَ الشبه بين هذا الحدث وبين الجدل الدائر حول الشتاء النووي واضحةٌ للغاية. وقد ألقَتْ أوجهُ التطور في النمذجة الحاسوبية، مقرونةً بمعرفة التكوين الكيميائي المحتمَل للصخور «المستهدفة» (رواسب مياه البحر الضحلة) وسلوكها تحت صدمة الضغط المرتفع؛ الضوءَ على المراحل الأولى من الارتطام وآثاره البيئية. ففي يوكاتان، ربما ارتطَمَ النيزك بقاع البحر الذي كان بطبيعة الحال غنيًّا بالماء والكربونات والكبريتات، وقد أَطلق هذا نحو ٢٠٠ جيجاطن من كلٍّ من ثاني أكسيد الكبريت وبخار الماء في طبقة الستراتوسفير. وتشير نماذج الارتطام القائمة على التكوين الهندسي للفوهة نفسها، إلى أن الارتطام كان مائلًا ومن جهة الجنوب الشرقي، وقد ركَّز هذا المسار الغازات الناتجة نحو أمريكا الشمالية؛ ويشير السجل الحفري بالتأكيد إلى أن حالات انقراض النباتات كانت شديدةً في هذه المنطقة، لكن لا بد من إجراء المزيد من الأبحاث في الأماكن الأخرى قبل التأكُّد من صحة هذا النمط. أشارت أبحاث ألفاريز وغيره عن تأثير الاصطدام إلى أن الغبار والسُّحُب أغرقَا العالَمَ في ظلمةٍ أدَّت إلى التجمُّد. وعلى الرغم من أن النماذج المُعدَّة بواسطة الكمبيوتر عن الظروف الجوية، تشير حاليًّا إلى أنه في خلال بضعة أشهر بدأت مستوياتُ الضوءِ ودرجاتِ الحرارة تعود إلى سابق عهدها، بسبب الخمول الحراري للمحيطات، والسقوط المستمر لموادَّ جسيميةٍ من الغلاف الجوي، لكن للأسف، لم تتحسَّن الأمورُ لوقت طويل؛ لأن اختلاط ثاني أكسيد الكبريت مع الماء في الغلاف الجوي قد أنتج ضبابًا من حمض الكبريتيك، وقد أدَّى هذا الضباب إلى انخفاض شديد في مقدار ضوء الشمس الواصل إلى سطح الأرض لمدة تتراوح بين ٥ و١٠ سنوات. وكان لهذا الضباب تأثيرٌ مزدوج على الأرض تمثَّلَ في تبريدها إلى ما يقترب من درجة التجمُّد وإغراق سطحها بمطر حمضي. من الواضح أن هذه التقديرات قائمة فقط على النماذج المُعدَّة بواسطة الكمبيوتر، التي ربما تكون عرضةً للخطأ؛ ومع هذا، لو كانت صحيحةً جزئيًّا لَأصبح المدى العام لاختلاط الآثار البيئية التي أعقبَتِ الارتطامَ مدمِّرًا بالفعل، وقد يكون بالفعل مسئولًا عن العديد من جوانب انقراض أشكال الحياة الأرضية والبحرية، الذي يميِّز نهايةَ العصر الطباشيري. ويبقى العجيب في الأمر إلى حدٍّ ما هو نجاة أي شيء على الإطلاق من هذه الظروف المدمِّرة.

اضطرابات

بينما ركَّزت الأبحاث في السنوات الأخيرة على شرح الآثار البيئية لنيزك ضخم على النُّظُم البيئية العالمية، لا تزال الأبحاث مستمرةً في موقع «تشيكسولوب»؛ فقد وصل حاليًّا ثقبُ حفر رئيسي داخل الفوهة إلى عُمق ١٫٥ كيلومتر، من أجل إجراء فحص مفصَّل لمنطقة الارتطام. وما بدأ يتكشَّف حاليًّا يُحدِث إرباكًا طفيفًا في النمط العام المشروح آنفًا؛ فتشير مجموعةٌ من التفسيرات الموضوعة لبيانات اللبِّ، إلى أن فوهة الارتطام هذه ربما تكون قد تكوَّنت «قبل» ٣٠٠ ألف عام من الفاصل الزمني بين العصرين الطباشيري والثلاثي؛ تمثِّل هذه الفترةَ رواسبُ سُمْكُها نحو ٠٫٥ متر. وقد استُخدِم هذا الدليل في اقتراح أن الحادث الذي وقع في نهاية العصر الطباشيري لم يتركَّز في اصطدام واحد ضخم للنيزك، وإنما في عدد من حوادث الارتطام الضخمة التي وقعت حتى وقت الحد الزمني الفاصل؛ وربما تسبَّبَ التأثيرُ التراكمي في نمط حالات الانقراض.

من الواضح أن هذه الاكتشافات الجديدة تشير إلى أن السنوات القادمة ستشهد بالتأكيد مزيدًا من الأبحاث ومزيدًا من الجدل؛ من أهم هذه الاكتشافاتِ البياناتُ المتعلِّقة بالنشاط البركاني الهائل الذي تزامَنَ مع أحداث نهاية العصر الطباشيري. تمثِّل أجزاءٌ من الهند، تُعرَف باسم إقليم الدكن، سلسلةً ضخمة من الفيض البازلتي قُدِّر أنها تبلغ ملايين الكيلومترات المكعبة. وما زال لم يتأكَّد بعدُ التأثيرُ البيئي لهذه التدفُّقات البركانية الهائلة، وهل كانت ترتبط على أيِّ نحوٍ بالارتطام النيزكي الذي حدث في الجانب الآخَر من العالم.

إن حالات الانقراض الجماعي هي علامات فاصلة مذهلة في تاريخ الحياة على الأرض، ولا عجبَ إنْ كان تحديد السبب الفعلي الذي أدَّى إليها أمرًا بالغَ الصعوبة.

أبحاث الديناصورات حاليًّا وفي المستقبل القريب

لا بد أن يكون قد اتضح الآن أن مادةً مثل الدراسة الحيوية للحفريات — بالتأكيد نظرًا لتطبيقها حاليًّا على كائنات مذهلة مثل الديناصورات — تنطوي حتميًّا على جانبٍ لا يمكن توقُّعه. فيمكن التخطيط لكثير من البرامج البحثية في علم الدراسة الحيوية للحفريات — وتكون بِنيتها بالفعل مُرضيةً فكريًّا — من أجل دراسة قضايا أو مشكلات معينة، وهذا أمر طبيعي في العلوم كافة. إلا أن المصادفة تلعب أيضًا دورًا مهمًّا؛ فقد

تقود البحثَ في اتجاهات غير متوقَّعة لم يكن من الممكن التنبُّؤ بها من البداية. كذلك قد يتأثَّر هذا العِلم على نحوٍ بالغ بالاكتشافات الحديثة المذهلة؛ فلم يكن أحدٌ في أوائل تسعينيات القرن العشرين بإمكانه أن يتوقَّع اكتشافات «الديناصور الطائر» المذهلة، التي حدثت في الصين في عام ١٩٩٦ واستمرت حتى يومنا هذا. كذلك يلعب التقدُّم التكنولوجي في علوم الفيزياء والأحياء دورًا بحثيًّا متزايدَ الأهمية؛ إذ يسمح لنا بدراسة الحفريات بطرقٍ لم تكن متوقَّعةً منذ بضع سنوات فقط.

من أجل الاستفادة من كثيرٍ من هذه الفُرَص، من المهم وجود أناس يشتركون في عدد من الصفات، أهمها أن يكون لديهم اهتمام مستمر بتاريخ الحياة على الأرض، وأن يتَّسِموا بطبيعة فطرية فضولية، كما أنهم يحتاجون إلى بعض التدريب في نطاق واسع للغاية من المجالات. وفي حين لا يزال من المهم أن يفكِّر العالِمُ بإبداع ويعمل بدرجة معينة من العزلة، تزداد أهميةُ وجود فِرَقٍ متعدِّدة التخصُّصات من أجل تطبيق كَمٍّ أكبر من المهارات في كل مشكلة، أو كل اكتشاف جديد، بهدف استخلاص المعلومات التي من شأنها أن تدفع العلمَ قليلًا إلى الأمام.

وفي الختام …

إنَّ رسالتي بسيطة نسبيًّا، فنحن البشر نستطيع ببساطة تجاهُلَ تاريخ الحياة على سطح الأرض، الذي يمكن فهمه — على الأقل جزئيًّا — من دراسة الحفريات. وبالفعل يعتنق الكثيرون مثل هذه الأفكار، لكن لحُسن الحظ، يمكنني القول إن بعضًا منَّا لا يعتنقها؛ فقد سار موكب الحياة طوال ٣٦٠٠ مليون سنة مضت، وهي فترة طويلة من الوقت على نحوٍ مذهلٍ. ونحن البشر نسيطر حاليًّا على معظم النُّظُم البيئية، على نحوٍ إما مباشِرٍ وإما غير مباشِرٍ، لكننا لم نبلغ هذه المكانة إلا خلال العشرة آلاف عام الأخيرة من عُمر الحياة على الأرض؛ فقبل ظهور الجنس البشري، كانت السيطرةُ في يد مجموعة كبيرة من الكائنات، وكانت الديناصورات بعضَ أفراد هذه المجموعة، وقد كانت — إلى حدٍّ ما — دون قصدٍ بمنزلة أوصياء على الأرض التي سكنوها. ويسمح لنا علمُ الدراسة الحيوية للحفريات بتعقُّب أجزاء من تلك الوصاية.

والسؤال الأشمل هنا هو: هل يمكننا التعلُّم من خبرات الماضي، واستخدامها لتساعدنا في الحفاظ على أرضٍ صالحةٍ للحياة حتى ترثها الأنواعُ الأخرى عندما نموت نحن في

النهاية؟ إنها مسئولية رهيبة في ظل التهديدات العالمية الحالية التي يفرضها النموُّ المطرد للسكان، وتغيُّرُ المناخ، والتهديدِ الذي تمثِّله الطاقةُ النووية. فنحن أول نوع على الإطلاق يوجد على سطح هذا الكوكب لديه القدرةُ على إدراك أن الأرض ليست مجرد «الوقت الحاضر» فحسب، وإنما لها تاريخ عميق، وآمل حقًّا ألَّا نكون آخِرَ نوع لديه هذه القدرة. إن الشيء الوحيد الذي يمكننا التأكُّد منه — بعد دراستنا ازدهارَ الأنواع وتراجُعَها على مدى السجل الحفري الضخم — هو أن الجنس البشري لن يبقى إلى الأبد.

لقد ظهر الإنسان العاقل الذي ننحدر منه منذ نحو ٥٠٠ ألف سنة، وربما يستمرُّ نوعُنا مليونَ سنة أخرى، أو ربما حتى ٥ ملايين سنة — هذا إذا حالفنا النجاح (أو الحظ) بدرجة فائقة للغاية — لكننا في النهاية سنندثر كما اندثرت الديناصورات تمامًا، وهذا المصير محفورٌ في الصخور.

قراءات إضافية

D. E. G. Briggs and P. R. Crowther (eds), *Palaeobiology II* (Oxford: Blackwell Science, 2001).

C. R. Darwin, *On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life* (London: John Murray, 1859).

R. De Salle and D. Lindley, *The Science of Jurassic Park and the Lost World, or How to Build a Dinosaur* (London: Harper Collins, 1997).

D. R. Dean, *Gideon Mantell and the Discovery of Dinosaurs* (Cambridge: Cambridge University Press, 1999).

A. J. Desmond, *The Hot-Blooded Dinosaurs: A Revolution in Palaeontology* (London: Blond & Briggs, 1975).

C. Lavers, *Why Elephants Have Big Ears* (London: Gollancz, 2000).

A. Mayor, *The First Fossil Hunters: Palaeontology in Greek and Roman Times* (Princeton: Princeton University Press, 2001).

C. McGowan, *The Dragon Seekers* (Cambridge, MA: Perseus Publishing, 2001).

D. B. Norman, *Dinosaur!* (London: Boxtree, 1991).

D. B. Norman, *Prehistoric Life: The Rise of the Vertebrates* (London: Boxtree, 1994).

D. B. Norman and P. Wellnhofer, *The Illustrated Encyclopedia of Dinosaurs* (London: Salamander Books, 2000).

M. J. S. Rudwick, *The Meaning of Fossils: Episodes in the History of Palaeontology* (New York: Science History Books, 1976).

D. B. Weishampel, P. Dodson, *et al.* (eds), *The Dinosauria* (Berkeley and Los Angeles: University of California Press, 2004).

مصادر الصور

(1) The Wellcome Library, London.

(2) Photo © David Norman.

(3) From Adrienne Mayor, *The First Fossil Hunters* (Princeton University Press, 2000). Drawings by Ed Heck.

(1–1) From David Norman, *Dinosaur!* (Boxtree, 1991).

(1–2) © John Sibbick.

(1–3) © The Natural History Museum, London.

(1–4) © The Natural History Museum, London.

(1–5) © David Norman.

(1–6) © The Natural History Museum, London.

(1–7) © The Natural History Museum, London.

(1–8) Royal Belgian Institute of Natural Sciences, Brussels.

(1–9) © David Norman.

(1–10) Natural History Museum, Berlin. © Louie Psihoyos/Corbis.

(1–11) © The Natural History Museum, London.

(1–12) Royal Belgian Institute of Natural Sciences, Brussels.

(2–1) © Gregory S. Paul.

(2–2) © Ed Heck.

(3–1) Redrawn from E. Casier.

(3–2) Royal Belgian Institute of Natural Sciences, Brussels.

(3–3) Royal Belgian Institute of Natural Sciences, Brussels.

(3–4) © John Sibbick.

(3–5) © John Sibbick.

(3–6) © David Norman.

(3–7) © John Sibbick.

(3–8) © David Norman.

(3–9) © David Norman.

(3–10) © David Nicholls.

(4–2) © John Sibbick.

(4–3) From David Norman, *Dinosaur!* (Boxtree, 1991).

(4–4) From David Norman, *Dinosaur!* (Boxtree, 1991).

(4–5) From David Norman, *Dinosaur!* (Boxtree, 1991).

(5–1) © David Norman.

(6–1) © John Sibbick.

(7–1) From David Norman *Dinosaur!* (Boxtree, 1991).

(7–2) Reproduced courtesy of the Museum of Victoria, Melbourne.

(7–3) Courtesy of Timothy Rowe.

(7–4) Courtesy of Emily Rayfield.